Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Previsão de atributos do clima e do rendimento de grãos de milho na região Centro-Sul do Brasil

Pedro Abel Vieira Junior

Tese apresentada para a obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2006

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

Pedro Abel Vieira Junior
Engenheiro Agrônomo

Previsão de atributos do clima e do rendimento de grãos de milho na região Centro-Sul do Brasil

Orientador:
Prof. Dr. **DURVAL DOURADO NETO**

Tese apresentada para a obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2006

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Vieira Junior, Pedro Abel
Previsão de atributos do clima e do rendimento de grãos de milho na região Centro-Sul do Brasil / Pedro Abel Vieira Junior. - - Piracicaba, 2006.
329 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.
Bibliografia.

1. Climatologia 2. Grãos 3. Milho 4. Safra – Previsão 5. Simulação – Estatística I. Título

CDD 633.15

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Durante a execução deste trabalho me ocorreu que os Homens acontecem na história, mas, os grandes Homens fazem a história. Não recordo de sua origem. Também pouco importa. O importante é que podemos trilhar a planície para a mediocridade, a ponte para o paraíso ou o labirinto para o inferno, a decisão é pessoal, as conseqüências também.

Ofereço este trabalho à minha esposa Adriana, às minhas filhas Nicolle e Gabriella e ao meu filho Lucas, pelo carinho que me dedicam e, principalmente, pela tolerância que me dispensam nesta vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Durval Dourado Neto, antes de um orientador, um amigo.

Ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto de Pesquisas Espaciais pelo apoio e os parâmetros climáticos previstos.

Ao Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", representados pelo Professor Pedro Cristoffoleti e Luciane Aparecida Lopes, pela colaboração.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária por proporcionar esse curso.

À Embrapa Arroz e Feijão, representada por Silvando Carlos da Silva e o Técnico José Cardoso, pela disponibilização dos parâmetros climáticos em Goiânia.

Ao Instituto Agronômico de Campinas, representado pelos pesquisadores Orivaldo Brunini e Denise Regina Silva Abreu, pela disponibilização dos parâmetros climáticos em Cravinhos, Guaíra, Limeira e Manduri.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia, representado por Moacir Dal'Antonia e Cristina Costa, pela disponibilização dos parâmetros climáticos nos demais locais.

Ao Sistema de Meteorologia do Estado de Goiás, representado por Rose da Paz, pela disponibilização dos parâmetros climáticos em Goianésia e Porangatu.

À Universidade Federal de Lavras, representado pelo Sr. Geraldo Cleber, pela disponibilização dos parâmetros climáticos em Lavras.

À Universidade Federal de Viçosa, representado pelos Prof. José Eustáquio e Sérgio Zolnier, pela disponibilização dos parâmetros climáticos em Viçosa.

À Aline Holanda Nunes Maia, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, pela co-orientação e apoio nas analises estatísticas.

Ao Dr. Pedro Moreira da Silva Filho, conselheiro acadêmico pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, pelas oportunidades.

Aos Professores Lázaro Pereira Perez, Paulo Camargo Castro e Ricardo Ferraz de Oliveira, pelas orientações em fisiologia vegetal.

Ao Professor Miguel Cooper pelas sugestões e o banco de dados de solos.

Ao Professor José Paulo Molin, pelas sugestões.

À Chou Sin Chan, pesquisadora do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, pelas orientações e, principalmente, pela motivação na elaboração deste trabalho.

À Javier Tomasella, pesquisador do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, pelas sugestões.

Aos pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo, em especial a Antônio Carlos Oliveira, Antonio Marcos Coelho, Daniel Pereira Guimarães, Luís Marcelo Aguiar Sans e Morethson Resende, pelas sugestões.

À Eduardo Assad, pesquisador da Embrapa Informática na Agricultura, pelas sugestões.

À Fabio Marin, pesquisador da Embrapa Informática na Agricultura, pelas sugestões.

Aos amigos da Embrapa Negócios Tecnológicos, Amantino Martins Nicoli, Carolina Abreu Costa, Ciro Scaranari, Edison Bolson, Fernando Almeida, Hugo Villas'Boas, Luis Antonio Laudares Faria, Luiz Carlos Miranda, Marcelo Dresller e Reginaldo Coelho pelo apoio.

Ao Professor Paulo Augusto Manfron, professor da Universidade Federal de Santa Maria, um bom amigo.

Ao amigo Gustavo Fontana, aluno do curso de pós-graduação em engenharia rural da Esalq, pelo companheirismo.

Ao amigo Thiago Romanelli, aluno do curso de pós-graduação em engenharia rural da Esalq, pelo companheirismo e pelas correções.

À Stella Cato, aluna do curso de pós-graduação em fitotecnia da Esalq, uma grande amiga.

Aos amigos da Esalq, em especial Adriano e Adriana Barbosa, Carlos Pereira, Felipe Pilau, Gustavo e Marisa Faulin, José Vitor Salvi, Marcos e Marina Matos, Reinaldo Bonnecarrère e Thomas Newton Martin.

SUMÁRIO

RESUMO 9
ABSTRACT 10
LISTA DE FIGURAS 11
LISTA DE TABELAS 15
1 INTRODUÇÃO 19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 22
2.1 Climatologia 24
2.1.1 Circulação geral na atmosfera 29
2.1.2 Centros de pressão e ventos 35
2.1.3 Sistemas frontais 42
2.1.4 Célula de Walker e Oscilação Sul 51
2.1.5 Previsão do clima e do Tempo 59
2.2 Milho 68
2.2.1 Anatomia, morfologia e estádios fenológicos 71
2.2.2 Ecofisiologia 83
2.2.3 Condições para altos rendimentos 87
2.3 Modelos de cultura 95
2.3.1 Modelo de Cultura para milho 103
3 MATERIAL E MÉTODOS 109
3.1 *El Niño* oscilação sul (ENOS) na região Centro-Sul do Brasil 114
3.2 Parâmetros climáticos previstos pelo modelo Eta 119
3.3 Modelo de cultura para milho 124
3.3.1 Dados e estimativa dos parâmetros referentes ao solo 125
3.3.2 Dados e estimativa dos parâmetros climáticos 137
3.3.3 Dados e estimativa dos parâmetros da planta 143
3.3.4 Estimativa dos desenvolvimentos relativos da cultura 147
3.3.5 Estimativa do rendimento de grãos 150
3.3.6 Estimativa do coeficiente hídrico 155
3.4 Estimativa e previsão do rendimento de grãos de milho 167

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 177
4.1 *El Niño* oscilação sul (ENOS) na região Centro-Sul do Brasil 178
4.1.1 Paraná 187
4.1.2 Mato Grosso do Sul 190
4.1.3 São Paulo 194
4.1.4 Minas Gerais 197
4.1.5 Goiás 205
4.1.6 Bahia 209
4.2 Parâmetros climáticos previstos pelo modelo Eta 210
4.2.1 Paraná 222
4.2.2 Mato Grosso do Sul 229
4.2.3 São Paulo 233
4.2.4 Minas Gerais 240
4.2.5 Goiás 247
4.2.6 Bahia 254
4.3 Estimativa e previsão do rendimento de grãos de milho 270
4.3.1 Paraná 275
4.3.2 Mato Grosso do Sul 279
4.3.3 São Paulo 281
4.3.4 Minas Gerais 286
4.3.5 Goiás 292
4.3.6 Bahia 298
4.4 Considerações finais 301
4.4.1 *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) na região Centro-Sul do Brasil 302
4.4.2 Parâmetros climáticos previstos pelo modelo Eta 305
4.4.3 Estimativa e previsão do rendimento de grãos de milho 310
5 CONCLUSÕES 314
REFERÊNCIAS 315

RESUMO

Previsão de atributos do clima e do rendimento de grãos de milho na região Centro-Sul do Brasil

A Previsão de Safras tem se constituído em importante ferramenta para o estabelecimento de políticas agrícolas públicas e privadas. Em geral, a Previsão de Safras consiste na previsão do clima e na estimativa do rendimento das partes de interesse econômico de uma cultura. A previsão do clima pode ser realizada pela análise de séries históricas dos parâmetros climáticos e dos efeitos de fenômenos conhecidos, a exemplo do *El Niño* Oscilação Sul (ENSO), o qual pode ser medido pelo Índice de Oscilação Sul (IOS). Também pode ser realizada pela integração numérica das equações diferenciais que regem os movimentos da atmosfera no planeta Terra, também conhecida como previsão numérica. A estimativa do rendimento das culturas também pode ser realizada pela análise estatística de séries históricas ou pela integração numérica de equações diferenciais que regem a fisiologia e o desenvolvimento das plantas, ambos conhecidos como modelo de culturas. O principal objetivo deste trabalho foi propor uma metodologia para a Previsão de Safras no Brasil, tendo como ponto de partida e protótipo o estudo do rendimento de grãos de milho na região Centro-Sul do país. Para tanto, séries históricas com 60 anos de precipitação pluvial em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil foram comparadas aos Índices de Oscilação Sul medidos no mesmo período, inferindo-se que o fenômeno ENSO apresenta efeito marcante, e distinto, apenas em locais mais ao Sul e a Nordeste da região Centro-Sul. Concluiu-se pela impossibilidade de utilização do IOS para a previsão de parâmetros climáticos diários, o que também é prejudicado pela carência de séries históricas dos parâmetros climáticos com 60 ou mais anos no Brasil. Ainda quanto à previsão do clima, as previsões de radiação solar, precipitação pluvial, temperaturas máxima e mínima e umidade relativa do ar, geradas pelo modelo Eta a cada seis horas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002, foram comparadas às respectivas medidas diárias desses parâmetros climáticos, concluindo-se pela possibilidade da aplicação das previsões geradas pelo modelo Eta na Previsão de Safras, à exceção dos locais mais ao Sul e mais a Nordeste da região Centro-Sul do Brasil. Acerca da estimativa do rendimento de grãos de milho, foi proposto um modelo de cultura baseado na integração das equações que regem a fisiologia e o desenvolvimento das plantas. Comparando-se os rendimentos de grãos de milho estimados nos 24 locais durante as safras 1997/98 a 2001/02, conclui-se pela possibilidade da estimativa do rendimento de grãos de milho na região Centro-Sul pelo modelo proposto. Porém, as discrepâncias entre os rendimentos estimados e os respectivos rendimentos medidos nos locais mais ao Sul e nos locais com textura de solo arenosa apontam a necessidade de correção da estimativa da dinâmica de água realizada pelo modelo de cultura proposto. Como conclusão geral, verificou-se que a metodologia proposta para a Previsão de Safras tem virtudes que devem ser exploradas no sentido de sua implementação no Brasil. Porém, essa implementação depende substancialmente da gestão dos trabalhos, de modo a propiciar as condições necessárias. Cabe destacar que o país tem realizado notáveis avanços nesse setor, caso da implementação da rede meteorológica nacional e do conhecimento gerado pelo Centro de Estudos e Previsões do Clima e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, entre outras instituições. Ainda assim, essa área do conhecimento, fundamental para um país agrícola como o Brasil, carece de estudos.

Palavras-chave: Previsão de safras; Previsão do clima; Modelo de cultura.

ABSTRACT

Forecast of climatic features and corn grain yield in the Brazilian Center-South region

Crop forecast has become an important tool for the private and public agricultural policies to be established. Generally, crop forecast is composed by climatic forecast and the yield estimative of growth of economically interesting parts of crops. The climatic forecast can be performed through the analyses of historical series of the climatic features and of the known phenomena, such as the *El Niño* Southern Oscillation (ENSO), which can be measured by the Southern Oscillation Index (IOS). It can also be done through a numerical integration of differential equations that rule the atmospheric movements of the Earth, a.k.a. numerical forecast. The estimate of crop yields can also be done through the statistical analysis of historical series or through the integration of differential equations that rule the plant physiology and development, both known as crop models. The main objective of this study was to indicate a methodology for Crop Forecast in Brazil, having as a starting point and prototype the study of corn grain yield in the Center-South region of Brazil. Thus, historical series of 60 years of precipitation in 24 sites of the studied region were compared to the IOS measured in the same period, inferring that the phenomenon ENSO has a remarkable effect, distinctly in the most southern and northeast portions of the studied region. One concluded due to the impossibility of using the IOS for daily climatic forecast, which is threatened by the lack of historical series of climatic features with 60 or more years in Brazil. Regarding the climatic forecast, the forecasts of solar radiation maximum and minimum temperatures and air moisture generated by the model Eta on every 6 hours between July 16, 1997 and June 15, 2002 were compared to the respective daily measurements of these climatic parameters. This provided subsidies for the conclusion that the data generated by the model Eta could be used in the Crop Forecast, except for the most southern and northeast regions in the Center-South region of Brazil. For the estimate of corn grain yield, a model based in the integration of equations that rule the plant physiology and development was proposed. Comparing corn grain yields estimated in 24 sites from the agricultural year 1997/98 to 2001/02, one concluded the possibility of estimating the corn grain yield for the studied region by the proposed model. Although the differences between the estimated and the measured yields in the most southern sites and in those with sandy soils indicate the demand for correction of the estimative of water dynamics performed by the proposed model. As a general conclusion, the methodology proposed for crop forecasting brings positive points which should be explored in the sense of its implementation in Brazil. On the other hand, this implementation depends substantially on the work management, propitiating the necessary conditions. One should highlight that the country has developed notably in this sector, such as the cases of the implementation of the national meteorological net and of the knowledge broadcasted by the Center of Climatic Studies and Forecasting and by the The Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA), among other institutions. Even though, this area of knowledge – vital to an agricultural country as Brazil – demands more research.

Keywords: Crop forecast, Climatic forecast, Crop modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Variação global da radiação líquida segundo a latitude (SOARES, 2005) 30

Figura 2 – Circulação global idealizada no modelo de três células (SOARES, 2005) 31

Figura 3 – Mapa de equilíbrio térmico terrestre em $cal.cm^{-2}.min^{-1}$ (SOARES, 2005) 34

Figura 4 – Representação das regiões dos ventos predominantes, da Zona de Convergência Intertropical e das Zonas de alta pressão (SOARES, 2005) 35

Figura 5 – Distribuição média dos centros de pressão e direção predominante dos ventos em Janeiro (A) e Julho (B) segundo Soares (2005) 37

Figura 6 – Regiões-fonte e padrões de escoamento médio de massas de ar, no verão do Hemisfério Sul (TALJAARD, 1972) 43

Figura 7 – Diagrama esquemático dos tipos de interações mais freqüentes em três Sistemas Frontais e a convecção tropical entre as latitudes 40ºS a 35ºS (A), 35ºS a 25ºS (B), 25ºS a 20ºS (C) e ao norte de 20ºS (D) (OLIVEIRA, 1986) 49

Figura 8 – Circulação de Walker para um ano normal (A) e de *El Niño* (B) (MOLION, 1989) 51

Figura 9 – Índice de Oscilação Sul (IOS) indicando os períodos de ocorrências de *El Niño*: valores positivos maiores que 0,5; *La Niña*: valores negativos menores que -0,5; e neutros: valores entre -0,5 e 0,5 (QUINN, NEAL; de MAYOLO, 1987; METEOROLOGICAL SERVICE OF CANADA, 2005) 530

Figura 10 – Representação esquemática das condições de *El Niño*, normais e de *La Niña* (INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2005a) 56

Figura 11 – Áreas do globo que apresentam anormalidades periódicas em função de *El Niño* Oscilação Sul (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987) 58

Figura 12 – Estádios de desenvolvimento da cultura de milho (adaptado de FANCELLI, 1988) 77

Figura 13 – Acúmulo médio de matéria seca em partes da planta de milho semeado no verão (A) e no inverno (B) segundo Dourado Neto (1999) 85

Figura 14 – Distribuição espacial dos locais de verificação dos efeitos do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS), de avaliação dos parâmetros atmosféricos gerados pelo modelo Eta e dos rendimentos de grãos de milho estimados pelo modelo de cultura Os diâmetros das legendas são proporcionais à altitude do local 112

Figura 15 – Representação esquemática do fluxo de água no sistema da cultura (Adaptado de PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997) 156

Figura 16 – Diferenças relativas máximas entre os totais mensais de chuva e suas medianas no primeiro semestre do ano para os 24 locais avaliados e a significância do valor p. Os diâmetros das legendas são proporcionais à diferença em modulo. O sinal - sobre a legenda indica diferença negativa e sua ausência diferença positiva 180

Figura 17 – Diferenças relativas máximas entre os totais mensais de chuva e suas medianas no primeiro semestre do ano para os 24 locais avaliados e a significância do valor p. Os diâmetros das legendas são proporcionais à diferença em modulo. O sinal - sobre a legenda indica diferença negativa e sua ausência diferença positiva 181

Figura 18 – Deslocamento meridional da Zona de Convergência Intertropical (ZCI) na longitude 30ºW sobre o Oceano Atlântico em períodos de eventos *El Niño*, *La Niña* e Neutros (NOBRE; SHUKLA, 1996) 190

Figura 19 – Caracterização da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) pela precipitação pluvial média diária e velocidade de ventos (850 hPa) no trimestre Dezembro, Janeiro e Fevereiro (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004) 193

Figura 20 – Desvio em relação à média das medidas e previsões realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência de precipitação pluvial (mm), temperatura máxima (ºC) e temperatura mínima (ºC) em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil 211

Figura 21 – Médias das medidas e previsões realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência de precipitação pluvial (mm), temperatura máxima (ºC) e temperatura mínima (ºC) em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil..... 214

Figura 22 – Medianas das medidas e previsões realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência de precipitação pluvial (mm), temperatura máxima (ºC) e temperatura mínima (ºC) em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil 215

Figura 23 – Distribuição espacial das diferenças relativas entre as médias e as medianas das medidas e das previsões de precipitação pluvial realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil. Os diâmetros das legendas são proporcionais à média 216

Figura 24 – Distribuição espacial das diferenças relativas entre as médias e as medianas das medidas e das previsões de temperatura máxima realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil. Os diâmetros das legendas são proporcionais à média 217

Figura 25 – Distribuição espacial das diferenças relativas entre as médias e as medianas das medidas e das previsões de temperatura mínima realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência em 24 locais da região 218
Centro-Sul do Brasil. Os diâmetros das legendas são proporcionais à média 5

Figura 26 – Distribuição espacial das diferenças relativas entre os desvios em relação à média e os valores máximos das medidas e das previsões de precipitação pluvial realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil. Os diâmetros das legendas são proporcionais ao desvio 219

Figura 27 – Distribuição espacial das diferenças relativas entre os desvios em relação à média e os valores máximos das medidas e das previsões de temperatura máxima realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil. Os diâmetros das legendas são proporcionais ao desvio 220

Figura 28 – Distribuição espacial das diferenças relativas entre os desvios em relação à média e os valores máximos das medidas e das previsões de temperatura mínima realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil. Os diâmetros das legendas são proporcionais ao desvio 221

Figura 29 – Distribuição espacial das médias e medianas das diferenças relativas entre os rendimentos estimados, ou os rendimentos previstos, com os respectivos rendimentos máximos medidos de grãos de milho em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil. Os diâmetros das legendas são proporcionais à média 271

Figura 30 – Distribuição espacial dos valores máximos e mínimos das diferenças relativas entre os rendimentos estimados, ou os rendimentos previstos, com os respectivos rendimentos máximos medidos de grãos de milho em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil. Os diâmetros das legendas são proporcionais à média e ao valor máximo 272

Figura 31 – Diferenças relativas entre os entre os rendimentos estimados e os respectivos rendimentos máximos medidos de grãos de milho em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil nas safras 1997/98 a 2001/02..... 273

Figura 32 – Diferenças relativas entre os entre os rendimentos previstos e os respectivos rendimentos máximos medidos de grãos de milho em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil nas safras 1997/98 a 2001/02..... 274

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fenologia do milho 74

Tabela 2 – Conteúdo de nutrientes na parte aérea de culturas de milho de baixo, médio e alto rendimento de grãos 94

Tabela 3 – Latitude (Lat, º S), longitude (Long, º W), altitude (m) e disponibilidade de ensaios de rendimento de grãos de milho (*) nos locais considerados para análise da estimativa e da previsão do rendimento de grãos de milho 113

Tabela 4 – Classificação mensal dos fenômenos *El Niño* (EN), *La Niña* (LN) e neutros (Neutro) entre os anos de 1960 e 2000 117

Tabela 5 – Disponibilidade, segundo os 24 locais considerados da Região Centro-Sul, dos parâmetros climáticos medidos de radiação (Rad, $J.m^{-2}.s^{-1}$), precipitação pluvial (Prec, mm), temperaturas máxima e mínima do ar (TAr, ºC) e da superfície do solo (TSup, ºC), umidade relativa do ar (UR, %) e instituições responsáveis pela medição 123

Tabela 6 – Valores de condutividade hidráulica em solo saturado (k0, $cm.dia^{-1}$), sortividade (S0, $cm.dia^{-0,5}$) e taxa de infiltração (kIn, $cm.dia^{-1}$) relacionadas à textura (%) e as umidades residual (θr, $cm^3.cm^{-3}$) e de saturação(θs, $cm^3.cm^{-3}$) do solo 136

Tabela 7 – Parâmetros morfofisiológicos da planta de milho 145

Tabela 8 – Desenvolvimento Relativo Limite da Planta (DRL_{Planta}) e as respectivas Taxas de Alocação Limites na Raiz (TAL_{Raiz}), no colmo (TAL_{Colmo}), na folha (TAL_{Folha}) e nos órgãos reprodutivos (TAL_{OR}) segundo os estádios da planta de milho 149

Tabela 9 – Classificação das diferenças relativas entre os rendimentos estimados de grãos de milho (RE, $kg.ha^{-1}$), ou previstos (RP, $kg.ha^{-1}$), com os respectivos rendimentos máximos medidos de grãos de milho nos Ensaios Nacionais de Milho safra normal em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil durante as safras 1997/98 a 2001/02..... 171

Tabela 10 – Datas de semeadura (Sem), de colheita (Col) e ciclo da cultura em dias (Ciclo) dos Ensaios Nacionais de Milho safra normal em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil durante as safras 1997/98, 1998/99, 1999/00, 2000/01 e 2001/02 ..... 172 0

Tabela 11 – Coordenadas geográficas, latitude (Lat, ºS) e longitude (Long, ºW), e os teores (%) no solo de areia grossa, areia fina, silte, argila e carbono dos locais mais próximos aos 24 locais selecionados no Ensaio Nacional de Milho 174

Tabela 12 – Rendimentos de grãos de milho máximos (RM_{Max}, $kg.ha^{-1}$), médios (RM_{Med}, $kg.ha^{-1}$) e mínimos (RM_{Min}, $kg.ha^{-1}$) dos Ensaios Nacionais de Milho safra normal em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil durante as safras 1997/98 a 2001/02 175

Tabela 13 – Relações entre as freqüências mensais (Mensal) e locais (Local) das diferenças relativas e as classes *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) nos meses que apresentaram valor p significativo para os 24 locais avaliados 182

Tabela 14 – Maiores diferenças relativas positivas (Dif+) e negativas (Dif-) entre os totais mensais de chuva e suas medianas para os 24 locais avaliados cujos meses apresentaram valor p significativo 183

Tabela 15 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as precipitações pluviais estimadas pelo modelo Eta com 30 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil 258

Tabela 16 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as precipitações pluviais estimadas pelo modelo Eta com 60 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil 259

Tabela 17 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as precipitações pluviais estimadas pelo modelo Eta com 90 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil 260

Tabela 18 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as precipitações pluviais estimadas pelo modelo Eta com 120 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil 261

Tabela 19 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as temperaturas máximas estimadas pelo modelo Eta com 30 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil 262

Tabela 20 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as temperaturas máximas estimadas pelo modelo Eta com 60 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil 263

Tabela 21 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as temperaturas máximas estimadas pelo modelo Eta com 90 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil 264

Tabela 22 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as temperaturas máximas estimadas pelo modelo Eta com 120 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil 265

Tabela 23 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as temperaturas mínimas estimadas pelo modelo Eta com 30 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil 266

Tabela 24 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as temperaturas mínimas estimadas pelo modelo Eta com 60 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil 267

Tabela 25 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as temperaturas mínimas estimadas pelo modelo Eta com 90 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil 268

Tabela 26 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as temperaturas mínimas estimadas pelo modelo Eta com 120 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil 269

Tabela 27 – Diferenças entre as diferenças relativas previstas pelo modelo de cultura e as respectivas diferenças relativas estimadas em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil durante as safras 1997/98 a 2001/02 300

1 INTRODUÇÃO

O Homem, através dos tempos, tem desenvolvido estratégias, embora empíricas, de manipulação do ambiente e das plantas, através de práticas como a fertilização do solo, a irrigação, o controle de ervas daninhas e o melhoramento vegetal. No entanto, ainda são escassos os esforços concentrados para o entendimento dos mecanismos de controle do sistema solo-planta-atmosfera, bem como a previsão de respostas.

As condições atmosféricas são fatores determinantes no crescimento das plantas, além do fato de que, durante todo o ciclo de uma cultura, o rendimento potencial depende das variáveis abióticas, a exemplo da radiação e da disponibilidade hídrica, e das bióticas, caso das pragas e patógenos. Quanto às variáveis bióticas, é reconhecida a capacidade e relativa facilidade de interferência do Homem quando comparadas a muitas das variáveis abióticas, notadamente a radiação e a temperatura (DUVICK, 1992; HORTON, 2000; MACHADO, 1985).

Ainda no que tange às variáveis atmosféricas, seu conhecimento se faz necessário em várias atividades agronômicas, a exemplo da seleção e adaptação de genótipos, a definição de épocas de semeadura, a eleição de tratos culturais e a implantação de mecanismos de modificação de ambientes agrícolas. Por outro lado, sendo a principal fonte de energia na Terra e o principal elemento relacionado aos fenômenos meteorológicos, a radiação solar é responsável pela distribuição da fauna e da flora no planeta, influenciando diretamente as atividades fisiológicas dos seres vivos e os fenômenos atmosféricos. Assim, a produção vegetal depende diretamente da energia solar, fator de difícil manipulação pelo Homem (DUVICK, 1992; HORTON, 2000).

Com o advento da engenharia genética, uma alternativa vislumbrada é a melhoria do processo de fotossíntese; entretanto, essa tarefa é complexa e apresenta como principal limitação o fato de a enzima Rubisco apresentar afinidade tanto com CO_2 quanto com O_2, o que foi vantajoso nos primórdios da vida, quando a atmosfera era rica em CO_2. Embora a evolução das espécies resulte em mecanismos de concentração de CO_2, a exemplo das plantas C4 que dispõem da enzima PEP Carboxilase com alta afinidade em relação ao CO_2, essas espécies, a exemplo do milho, não apresentam saturação da produção fotossintética à radiação solar, além de serem mais eficientes na utilização de água e de nutrientes, o que implica a otimização da oferta ambiental para a obtenção das produções máximas (HORTON, 2000; VIEIRA JUNIOR, 1999).

A observação das variáveis como forma de compreender os fenômenos meteorológicos, determinando seus padrões de ocorrência e propiciando uma adequada previsibilidade do clima de

uma dada região, é um instrumento de grande valia no planejamento e na gestão de inúmeras atividades agropecuárias, uma vez que o planejamento adequado passa, obrigatoriamente, pelo conhecimento da variação dos elementos do clima, destacando-se aí a temperatura, a radiação solar e os índices pluviométricos (BARRY; CHORLEY, 1985; HEEMST, 1986).

O conhecimento das variáveis temperatura e radiação solar pode fornecer subsídios para a adequada determinação de períodos críticos predominantes numa certa região, criando, assim, condições para o fornecimento de informações que visam principalmente reduzir as conseqüências negativas causadas pelas variações de atributos atmosféricos. Uma vez que a temperatura do ar e a radiação solar são elementos cruciais do ambiente e que controlam a necessidade de água para o crescimento das plantas, é necessário quantificar sua distribuição em áreas agricultu ráveis e suas variações durante o ciclo das plantas (LARCHER, 1995).

A previsão das condições climáticas pode ser realizada com base na análise estatística de séries históricas; contudo, o ajuste a essas séries históricas de temperatura e de radiação solar, principalmente de valores diários, não é citado na literatura especializada como o são os estudos para séries de precipitação pluvial. No mais, a dificuldade de previsão de algumas manifestações naturais e as pequenas e constantes mudanças ocorridas no ambiente da Terra têm contribuído para significativas alterações das condições climáticas, restringindo a utilização de séries históricas. Um exemplo é o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS), ao qual tem sido atribuída grande importância com relação aos regimes climáticos zonais e que tem exigido esforços consideráveis para a compreensão e a previsão de ocorrência. Assim, modelos de simulação que descrevem elementos atmosféricos, notadamente os modelos numéricos, têm sido aplicados com mais freqüência na descrição de variáveis atmosféricas, destacando-se o Modelo de Circulação Geral, que fornece informações para a previsão das condições atmosféricas regionais, a exemplo do modelo Eta[1] (CAVALCANTI, 2005; INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2005a; INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2005b).

Por outro lado, a utilização de modelos objetivando quantificar os efeitos das variáveis no desenvolvimento das culturas vem ocorrendo há mais de 250 anos. Essa afirmação é baseada no fato de que Réaumür, em 1735, associou a temperatura ao desenvolvimento de culturas; o pesquisador estava propondo um dos modelos empíricos mais utilizados atualmente em

[1] Modelo de previsão numérica descendente do modelo criado pela Hydrometeorological Institute, da Universidade de Belgrado, e instalado no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) em 1996.

agrometeorologia, o modelo de graus-dias, o qual deu importante contribuição aos estudos de modelos para a estimativa do desenvolvimento e da produção de espécies vegetais (COSTA, 1997).

Um modelo de desenvolvimento de plantas, também denominado Modelo de Cultura, tem por objetivo buscar informações das diversas interações entre a planta e o ambiente, maximizando o uso de recursos naturais de cada região ou de uma condição de produção. Assim, é possível definir a melhor forma de manejo de uma cultura, e ainda favorecer o planejamento das atividades agrícolas. Nesse caso, são utilizados modelos baseados em análises estatísticas, a exemplo dos modelos da série Ceres (LIMA, 1995), e modelos baseados na descrição dos processos fisiológicos da planta, como o apresentado por Driessen e Konijn (1992).

Considerando o exposto sobre a produção vegetal e as condições atmosféricas, é possível inferir a importância de modelos para a previsão das condições atmosféricas, bem como para a estimativa da produção e do desenvolvimento vegetal (HEEMST, 1986), destacando-se que os rendimentos potenciais da cultura do milho são eventos que dependem diretamente da temperatura, da radiação solar e da disponibilidade hídrica (VIEIRA JUNIOR, 1999).

No Brasil, a região Centro-Sul, entendida como aquela que compreende as regiões Sudeste e Centro-Oeste, acrescida da meso-região Oeste do Estado da Bahia e das meso-regiões Norte e Oeste do Estado do Paraná, responde por mais de 60% da produção nacional de milho, sendo, pois, objeto de interesse de políticas agrícolas e da pesquisa nessa cultura. Ainda que a cultura do milho nessa região disponha de elementos tecnológicos comparáveis aos mais modernos do mundo, a exemplo dos germoplasmas e sistemas de produção, o rendimento médio de grãos ali ainda é bastante inferior aos maiores rendimentos mundiais, fato atribuído à carência de informações acerca das condições climáticas futuras e suas conseqüências sobre a cultura (TAVARES, 2005).

O presente trabalho tem como objetivo principal propor uma metodologia para a Previsão de Safras. Para tanto, enfatizando a região centro-sul do Brasil, serão considerados: i) a possibilidade da previsão de parâmetros climáticos diários com base na análise de séries histórica desses parâmetros e da influência do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS); ii) a previsão diária da radiação incidente, da precipitação pluvial, das temperaturas máxima e mínima e da umidade relativa do ar gerados pelo modelo regional Eta; e iii) desenvolver e avaliar um modelo de cultura para estimação da produção de milho, com ênfase no rendimento potencial de grãos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A análise mais detida dos avanços obtidos pela agricultura mundial indica que o incremento dos rendimentos das principais espécies vegetais cultivadas não decorre da melhoria na produção fotossintética, mas sim da melhor partição de fotoassimilados com ênfase nas partes de aproveitamento econômico, uma vez que genótipos antigos, a despeito da menor produção das partes de interesse econômico, apresentam produção biológica bastante próxima dos genótipos recentes (MACHADO, 1985; DUVICK, 1992).

Como já mencionado anteriormente, a melhoria do processo de fotossíntese é um processo complexo, e que apresenta como principal limitação o fato de que a enzima Rubisco tem afinidade tanto a CO_2 quanto a O_2, o que nos tempos primórdios da vida foi benéfico, já que a atmosfera era rica em CO_2. Apesar da reduzida alteração da enzima Rubisco, o que demonstra a complexidade para a melhoria de eficiência da fotossíntese, a evolução das espécies resultou em mecanismos de concentração de CO_2, a exemplo de plantas C4 em que a enzima PEP Carboxilase apresenta alta afinidade ao CO_2. As plantas C4, como o milho, desenvolveram processos que otimizam a fixação de CO_2 e, conseqüentemente, a utilização de água e de nitrogênio; além disso, sua produção fotossintética, em condições naturais, não apresenta saturação à radiação (HORTON, 2000; LARCHER, 1995; MACHADO, 1995). Assim, fica patente a necessidade de otimização do sistema de produção do milho, com o propósito de alta produtividade, o que implica a previsão dos atributos climáticos durante o desenvolvimento da cultura, de modo a otimizar a oferta ambiental - a exemplo da irrigação, dos tratos culturais, do controle de pragas e patógenos, e, principalmente, da definição das épocas de semeadura.

O milho representa, historicamente, um dos principais e mais tradicionais cereais cultivados em todo o Brasil, ocupando de maneira crescente posições significativas quanto ao valor da produção agropecuária, especialmente nos sistemas de produção mais aprimorados e baseados na semeadura direta, na rotação de culturas e, mais recentemente, na agricultura de precisão.

Atualmente, devido à sua capacidade de adaptação, o milho é cultivado na maior parte do território nacional. Em termos de distribuição e adoção de tecnologia, as maiores porções cultivadas se concentram particularmente no Distrito Federal e nos estados do Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás, além do oeste baiano,sendo toda essa região denominada por Centro-Sul (TAVARES, 2005).

Ao longo das duas últimas décadas, a área cultivada no Brasil variou entre nove a 14 milhões de hectares, sendo que nos últimos 10 anos, o incremento na produtividade média de grãos foi superior a 70% (TAVARES, 2005). Nesse contexto, o avanço tecnológico de insumos, aliado à oferta de genótipos mais bem adaptados, além da otimização dos sistemas de produção, caso das técnicas do plantio direto e da rotação de culturas, podem ser tidos como os principais fatores determinantes para o bom desempenho da espécie, em especial na região Centro-Sul.

A produtividade do milho é uma variável complexa e dependente de fatores genéticos, abióticos e bióticos. Dessa forma, o potencial produtivo do milho pode ser mais bem explorado pela adoção e implementação criteriosa de aspectos técnicos, a saber: i) escolha de genótipo mais bem adaptado à oferta ambiental e às condições de cultivo zonais; ii) época de semeadura preferencial para a região; iii) emprego de população e distribuição espacial de plantas compatíveis com a tecnologia empregada e a oferta ambiental; iv) controle eficiente de plantas daninhas, pragas e patógenos; v) manejo adequado do solo; e vi) nutrição adequada das plantas. Nesse cenário, destacam-se as técnicas relativas à agricultura de precisão, a qual, além de otimizar as relações entre a oferta ambiental e a aplicação de insumos, tem importantes implicações econômicas (COELHO; FRANÇA, 1995; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; VIEIRA JUNIOR, 1999; VIEIRA JUNIOR et al., 2004a).

No caso dos fatores genéticos, os germoplasmas de milho utilizados na região Centro-Sul do Brasil são bem adaptados à oferta ambiental regional e apresentam alta produtividade, notadamente se considerados os sistemas de produção utilizados com ênfase nas condições bióticas. Entretanto, é notória a carência de informações sobre o clima e as conseqüentes medidas de manejo da cultura a serem implementadas; podendo-se afirmar que, atualmente, essa é a principal deficiência da cultura do milho na região Centro-Sul do país. Para suprir tal carência, há que se prever a oferta ambiental, notadamente os atributos meteorológicos que o Homem tem dificuldade de controlar como a temperatura, a radiação e a precipitação pluvial, bem como seus efeitos sobre a cultura, que dependem da fisiologia da planta do milho e podem ser obtidos pelo emprego de modelos de previsão de clima e de cultura, aspectos discutidos nos tópicos 2.1, 2.2 e 2.3, a seguir.

2.1 Climatologia

Desde os primórdios da humanidade, as manifestações atmosféricas têm sido motivo de reflexão sobre seus efeitos e suas origens; mesmo os homens das cavernas, para garantir sua sobrevivência, desenvolveram a prática da caça levando em conta aspectos da direção dos ventos em relação à posição da presa (MOURA, 1986).

Nas antigas civilizações há inúmeras referências ao Tempo e ao clima. Na Babilônia já eram feitas observações e generalizações meteorológicas, como sugerido por um antigo provérbio, inscrito em placa de barro datada de 4.000 anos a.C. e sob a guarda do Museu de Londres, em que se lê: "*Quando um anel circunda o Sol chuva cairá*" (MOURA, 1986).

Sócrates, no ano 400 a.C., refere-se a Platão como um Homem sábio e pensador "*das coisas supraterrestres*". Essa denominação, em grego, forneceu a origem da palavra *meteorologia*[2]. Entretanto, foi Aristóteles, em 350 a.C., quem primeiro escreveu sobre a meteorologia, relatando estudos sobre os elementos que dão origem ao bom e ao mau tempo, como o vento e a nuvem (MOURA, 1986).

O texto aristolélico continha erros, o que é compreensível em razão da época; entretanto, mesmo sem qualquer instrumentação, o filósofo grego acertou ao prever que o ar quente tende a subir para as mais altas camadas atmosféricas e que a evaporação é causada pelo "calor solar". Aristóteles também previu que a evaporação submetida à redução na temperatura nas altas camadas da atmosfera "*cai sob a forma de chuva*" (MOURA, 1986).

A partir dos conhecimentos sistematizados por Aristóteles, Teofrasto escreveu o *Livro dos Sinais*, obra que mencionava oito maneiras para "prever o Tempo" com um ano de antecedência, além de provérbios que ajudavam a prever o Tempo, quaisquer que fossem as características dos sinais observados. Algumas regras propostas por Teofrasto são coerentes, ao passo que outras são absurdas. Porém, Teofrasto obteve grande êxito com o seu livro, que se tornou extremamente popular entre milhares de gregos; tudo que os leitores interessados nos elementos tinham a fazer para determinar a previsão do tempo era consultar o livro, comparando os sinais a algumas observações rudimentares dos ventos, do céu e das nuvens (MOURA, 1986).

---

[2] De acordo com o *Dicionário Houaiss da língua portuguesa*, o termo "meteorologia" vem do grego *meteórología,as*, "pesquisa ou tratado sobre os corpos ou fenômenos celestes" (Platão); no francês, temos *météorologie* (1547) "estudo dos meteoros, dos fenômenos atmosféricos"; a acepção atual predominante de "ciência da previsão dos fenômenos atmosféricos" deve-se ao século XIX.

Até o século XVI, em muitos casos eram atribuídas causas sobrenaturais aos fenômenos atmosféricos; porém, em 1597, Galileu Galilei inventou o termômetro e a escala termométrica, ambos indispensáveis à evolução da meteorologia. Em 1643 Evangelista Torricelli, discípulo de Galileu, determinou a relação entre a pressão do ar, o que resultou na invenção do barômetro (WOLFE, 1961; MOURA, 1986). Com esses dois instrumentos, as observações meteorológicas passaram a ter caráter mais quantitativo e regular, o que permitiu a instalação de algumas estações de observação climática na Itália (WOLFE, 1961; MOURA, 1986). Assim, foi possível, explicar racional e cientificamente, os fenômenos observados e até então tidos como sobre-humanos, o que possibilitou os trabalhos de Boyle sobre a relação entre volume e pressão do ar, os estudos de Hadley sobre a influência da rotação da Terra nos ventos e trabalhos de Lavoisier sobre a composição do ar, todos citados por Wolfe (1961).

No século XIX, o Tempo e o clima foram temas de grande preocupação dos países europeus. A necessidade do conhecimento das dimensões físicas de certos fenômenos meteorológicos induziu as nações européias, num esforço conjunto, a desenvolver uma rede de estações meteorológicas, de modo que o conjunto de dados observados pudesse representar, num dado instante, o estado do tempo e suas flutuações para as localidades que compunham a rede de observação meteorológica (WOLFE, 1961).

Grosso modo, considerando o histórico das ciências meteorológicas, pode-se esboçar um ciclo evolutivo de quatro períodos, descritos a seguir.

O primeiro período, compreendido entre a Antigüidade e o ano de 1860, caracteriza os primeiros esforços do Homem para compreender o meio circundante da natureza e seus fenômenos atmosféricos, até a primeira previsão meteorológica, feita na Holanda, alertando para a possível ocorrência de uma violenta tempestade, em Junho de 1860 (WOLFE, 1961).

O segundo período, entre os anos de 1860 e 1920 e denominado “era empírica”, foi caracterizado pelo início das observações meteorológicas regulares e a criação dos serviços de meteorologia em vários países. Isso foi viabilizado pelas invenções dos primeiros instrumentos de medição dos parâmetros meteorológicos e pela invenção do telégrafo, em 1845, o que permitiu a rápida transmissão de informações meteorológicas necessárias à preparação de cartas sinóticas para a previsão e sua divulgação (WOLFE, 1961).

O terceiro período, ou “era de transição”, entre os anos de 1920 a 1950, é uma fase caracterizada pela Teoria das Frentes Frias e Quentes, desenvolvida por Jacob Bjerknes na

Noruega. Nesse período, a regularidade das observações da alta atmosfera, viabilizada pela invenção da radiossonda, possibilitou o desenvolvimento da Teoria das Ondas, que caracteriza o tempo em latitudes temperadas, além da invenção do radar meteorológico, que permite a observação, localização e o acompanhamento da evolução de fenômenos meteorológicos (WOLFE, 1961). Também vale ressaltar o trabalho pioneiro do meteorologista inglês Richardson (WOLFE, 1961) que, em 1922, publicou um livro sobre a previsão de tempo por métodos estatísticos e numéricos. Nesse trabalho, Richardson chega à conclusão de que, para fornecer a previsão do Tempo para um dia seria necessário 64 mil pessoas para calcular as várias integrações, tamanha a complexidade do problema pelo número de variáveis.

O quarto período, iniciado em 1950 e denominado "era científica", é caracterizado pelo uso de computadores, que viabilizaram a solução das equações descritas por Richardson. Com o advento do computador o desafio descrito por Richardson foi retomado pelo matemático Von Neumann e pelo meteorologista Jule Charney. Usando o computador ENIAC IV do Instituto para Estudos Avançados da Universidade de Princeton, em 1946, os dois foram os primeiros a ter sucesso com a previsão do tempo por meio do emprego da integração numérica das equações diferenciais que regem os movimentos da atmosfera da Terra (WOLFE, 1961).

Os fundamentos para o avanço da meteorologia foram proporcionados pelos trabalhos teóricos de Rossby, Chamey e Eady sobre a estrutura e propagação de ondas barotrópicas e baroclínicas, associadas aos ciclones e anticiclones existentes na atmosfera de latitudes temperadas. Assim, a previsão numérica do tempo experimentou um grande salto, passando de modelos barotrópicos de um só nível para modelos baroclínicos multiníveis em escala global (MOURA, 1986; WOLFE, 1961).

A partir das considerações acerca do percurso histórico da ciência meteorológica é possível inferir que o sucesso dos métodos físicos e numéricos na previsão do tempo sobrepujou a metodologia empírica então existente. Nesse caso, é de importância fundamental a compreensão dos fenômenos atmosféricos, notadamente quanto aos seus aspectos físicos.

Parte integrante essencial do planeta, a atmosfera pode ser descrita como uma imensa "máquina térmica" cuja principal fonte de calor é a energia solar. Essa máquina converte energia térmica em energia mecânica, com baixo rendimento - apenas 2% da energia solar recebida é convertida em energia mecânica -, dando origem à circulação geral da atmosfera que rege toda a dinâmica atmosférica global, ou seja, rege a dinâmica dos ventos, das frentes e das nuvens, entre

outros eventos importantes. Não obstante a importância da atmosfera, a termodinâmica dos oceanos também desempenha papel essencial nos eventos climáticos (PARKER, 1980). Assim, o estudo desses fenômenos em sentido amplo tem recebido o rótulo de meteorologia, enquanto o estudo que enfatiza a aplicação prática do conhecimento sobre os fenômenos climáticos é denominado climatologia (BARRY; CHORLEY, 1985).

Uma questão importante são os conceitos de Tempo e clima. Conceitualmente, o Tempo meteorológico refere-se às condições atmosféricas de um dado local em um dado momento, ao passo que o clima refere-se a uma generalização das condições atmosféricas por um período maior em uma determinada área geográfica (BARRY; CHORLEY, 1985). Usualmente "previsão do Tempo" é expressão que se refere à medição realizada para períodos de até cinco dias contados da previsão, enquanto que o termo "clima" é aplicado para períodos maiores.

Na climatologia os principais determinantes são os movimentos atmosféricos dados pela circulação geral na atmosfera e os fenômenos atmosféricos representados pelas massas de ar, frentes e ciclones, entre outros, descritos nos tópicos a seguir (BARRY; CHORLEY, 1985).

Quando se pretende efetuar o estudo de qualquer elemento do clima, necessário se faz localizar a porção da área no contexto da circulação geral da atmosfera. Por exemplo, se a região for tropical, o elemento mais importante a ser analisado é o regime de precipitações pluviais, os quais caracterizam as estações secas ou chuvosas. Contudo, se a região for temperada, tão importante quanto o regime das chuvas é a variação anual da temperatura, caracterizando períodos frios, geralmente invernos, e quentes, geralmente verões (VIANELLO; ALVES, 1991).

Quanto à variação dos totais pluviométricos em regiões tropicais, esses índices controlam todo um conjunto de atividades, a começar pelas agrícolas e hidrológicas - das quais tantas outras dependem - gravemente afetadas pelas secas ou enchentes, decorrentes da redução ou do aumento das precipitações pluviais (VIANELLO; ALVES, 1991).

As precipitações pluviais estão diretamente relacionadas às convecções, movimentos ascendentes de ar úmido resultantes de pressões atmosféricas mais baixas junto à superfície da Terra, podendo ser restritas a escalas locais ou provenientes da advecção de massas de ar. Tal ascensão pode resultar do aquecimento do ar em contato com a superfície, chuva convectiva, e ser influenciada pela topografia do local, chuva orográfica, e/ou pela ação de sistemas atmosféricos transientes de caráter dinâmico conhecidos como sistemas frontais. As convecções são intensificadas ou inibidas pela circulação geral da atmosfera, fenômeno de escala global, resultado

do balanço de energia diferenciado e de interações complexas entre oceano e a atmosfera (VIANELLO; ALVES, 1991; VAREJÃO-SILVA, 2000).

É preciso considerar que a previsão das condições atmosféricas tem evoluído consideravelmente na última década, notadamente quando levados em conta os avanços na previsão numérica. Daí é possível inferir a importância do seu estudo para as atividades agrícolas.

Nesse sentido, vários trabalhos têm sido realizados, a exemplo de Meinke e Hammer (1997), que estudaram as variações da produção de amendoim na Austrália em função de eventos climáticos; Handler (1994), que estudou a relação da produção de milho no estado norte-americano de Illinois e a ocorrência de fenômenos *El Niño* e *La Niña*; Markus (1992), que estudou a variação da produção mundial de cana-de-açúcar em conseqüência de eventos climáticos globais; e Garnett e Khandekar (1992), que relacionaram a ocorrência de *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) com a produção mundial de cereais. Cumpre destacar ainda a ênfase que a *Conference on the Economic of Meteorological and Hydrological Services* deu à questão, concluindo pelo grande interesse da sociedade humana em geral em relação aos estudos climáticos e acentuando as implicações econômicas das previsões climáticas para o sucesso dos setores agrícolas nacionais, especialmente nos países em desenvolvimento. (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1994).

No caso do Brasil, dentre as instituições relacionadas à climatologia merecem destaque o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), vinculado ao Ministério da Agricultura, e o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), instituição que desenvolveu o modelo de previsão numérico Eta (INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2005b).

O Eta é um modelo de mesoescala em ponto de grade cuja versão operacional cobre a maior parte da América do Sul e oceanos adjacentes, com resolução horizontal de 40 km e vertical de 38 camadas. As variáveis prognósticas do modelo são: temperatura do ar e da superfície, componentes zonal e meridional do vento, umidade específica e relativa, água líqüida da nuvem, pressão à superfície, radiação líqüida e energia cinética turbulenta. As previsões são fornecidas duas vezes ao dia, uma com condição inicial às 00:00 e outra às 12:00 (BLACK, 1994). Entretanto, o modelo não tem sido utilizado para previsões climáticas enfatizando a produção agrícola, o que muito poderia contribuir para a produção agrícola brasileira.

2.1.1 Circulação geral na atmosfera

O movimento espacial e temporal da atmosfera é extremamente complexo, dependente da propagação de ondas geradas pelos centros de alta e baixa pressão e de vórtices, entre outros. Para descrever a circulação da atmosfera, são necessárias médias climatológicas em tempos definidos de modo a suavizar as formas transitórias, além de que a descrição geral dos movimentos da atmosfera exigiria a descrição matemática da posição e da velocidade de cada uma das moléculas que a constituem. A impossibilidade de desenvolver uma teoria que resolvesse as infinitas equações e as acoplasse para formar uma solução conjunta, levou os estudiosos a formularem a hipótese do *continuum*. Nesse caso, o desempenho do material é uma função contínua expressa por equações diferenciais parciais acopladas. Os coeficientes dessas equações podem ser obtidos da teoria molecular, mas, na prática, são deduzidos de fenômenos, o que resulta na denominação de fenomenológico ao estudo do contínuo (BYERS, 1974).

Um modelo de circulação geral considerara a ação dos ciclones e anticiclones semipermanentes, cuja extensão e posição promovem o aquecimento diferencial de continentes e oceanos, além dos sistemas de ventos persistentes, a exemplo dos alísios de sudeste no hemisfério sul e de nordeste no hemisfério norte, os predominantes de oeste em latitudes médias, e os de leste em latitudes circumpolares (BATTAN, 1979).

Diferenças no balanço de radiação, associadas com a heterogeneidade da superfície terrestre, geram diferenças de pressão que mantém a atmosfera em contínuo movimento, fazendo com que a atmosfera terrestre esteja permanentemente submetida a processos de geração e transformação de energia. Esses movimentos tendem a eliminar as diferenças de pressão, removendo energia térmica das regiões de maior ganho, transportando-a e liberando-a nas regiões de menor ganho. A comparação em escala global do saldo entre a radiação curta e a radiação longa (Figura 1) demonstra que há *deficit* de energia nas latitudes entre 38º a 90º em ambos hemisférios e saldo de energia entre as latitudes 38ºN e 38ºS (SOARES, 2005).

Em seus deslocamentos, as massas de ar interagem entre si e com a superfície da Terra gerando alterações nas condições meteorológicas, sendo que a maior freqüência de condições meteorológicas específicas determina o clima local (FLEAGLE; BUSINGER, 1980).

O balanço de radiação, médio anual, do globo terrestre mostra que, a região entre os trópicos apresenta valor positivo crescente na medida em que se aproxima do equador, enquanto o balanço é negativo para regiões temperadas, ocorrendo os menores valores nas calotas polares.

Como conseqüência, a massa de ar no equador sofre aquecimento, diminuição de densidade e se eleva na atmosfera, enquanto as massas de ar nas calotas polares sofrem resfriamento, aumento de densidade e descendem na atmosfera. Ou seja, ao aquecimento da superfície pela radiação corresponderia alta pressão em altitude no equador, enquanto, ao resfriamento dos pólos corresponde à baixa pressão em altitude. Na superfície a pressão é baixa no equador aumentando na direção dos pólos, sendo que nos pólos o deslocamento pela rotação da terra causa a deflexão para oeste (BYERS, 1974; BATTAN, 1979; BARRY; CHORLEY, 1985; AYOADE, 1996).

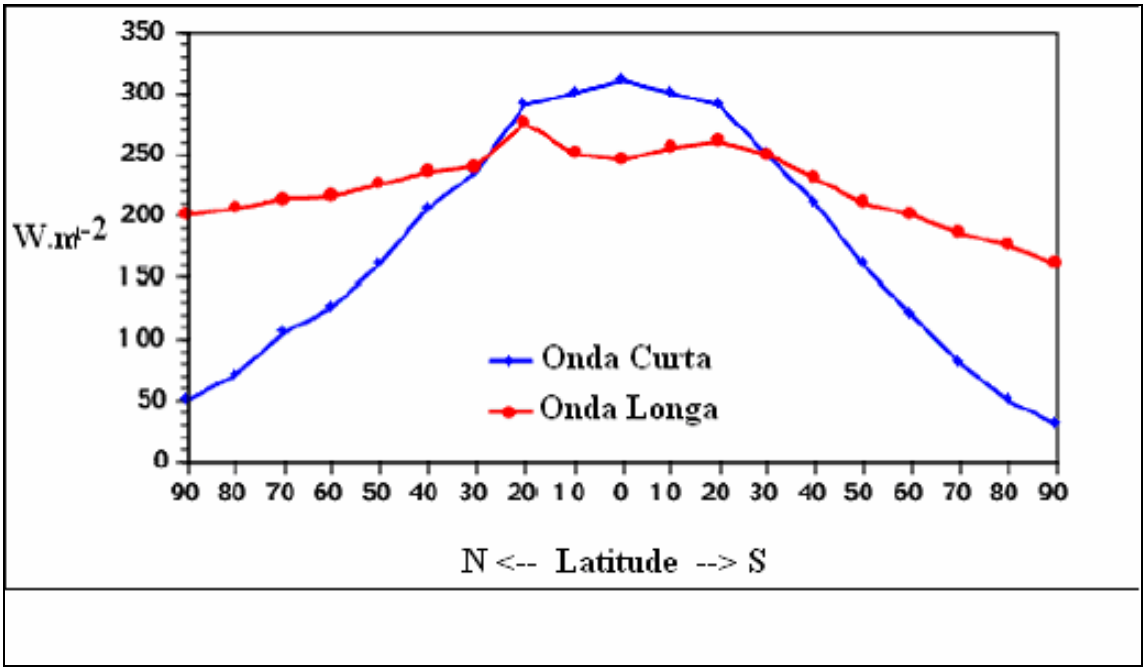


Figura 1 – Variação global da radiação líquida segundo a latitude (SOARES, 2005)

As condições diferentes nos pólos e no Equador gerariam um gradiente contínuo de pressão entre os pólos e o Equador caso não houvesse perturbações - a exemplo das forças da gravidade, de Coriolis, centrífuga e de atrito (AYOADE, 1996).

Sob a ação da força de Coriolis, uma massa de ar que descendeu do Pólo Sul, na sua trajetória ao norte, seria continuamente desviada para a esquerda. Sua direção passaria a apresentar uma componente de leste, até certa latitude, na qual a direção resultante seria leste. As medições de vento de superfície mostram fortes ventos de leste em torno da latitude de 60º e de sudeste em latitudes maiores que 60º (AYOADE, 1996).

A massa de ar que se elevou no Equador desloca-se, na parte superior da atmosfera, em direção aos pólos. Ao se deslocar em direção ao Pólo Sul ela deflete, originando ventos de noroeste em altitude. À medida que se desloca, a massa de ar resfria-se e descende gradativamente na atmosfera, indo atingir a superfície do solo na latitude aproximada de 30º S. O fluxo descendente de ar na atmosfera gera uma região de alta pressão junto à superfície terrestre (BARRY; CHORLEY, 1985; AYOADE, 1996).

Parte da massa de ar que descendeu na atmosfera encaminha-se para o norte e parte para o sul. A massa de ar que se orienta para o norte passaria a sofrer deflexão para a esquerda e gradativamente originaria ventos com componentes leste. Constata-se que entre o Trópico de Capricórnio e o Equador, os ventos predominantes de superfície são ventos de sudeste, constituindo os alísios de Sudeste. A circulação do ar, elevando-se no Equador, descendendo no Trópico de Capricórnio, dando ventos sudeste de superfície e noroeste de altitude, constitui a Célula Tropical de Circulação Meridional (Figura 2).

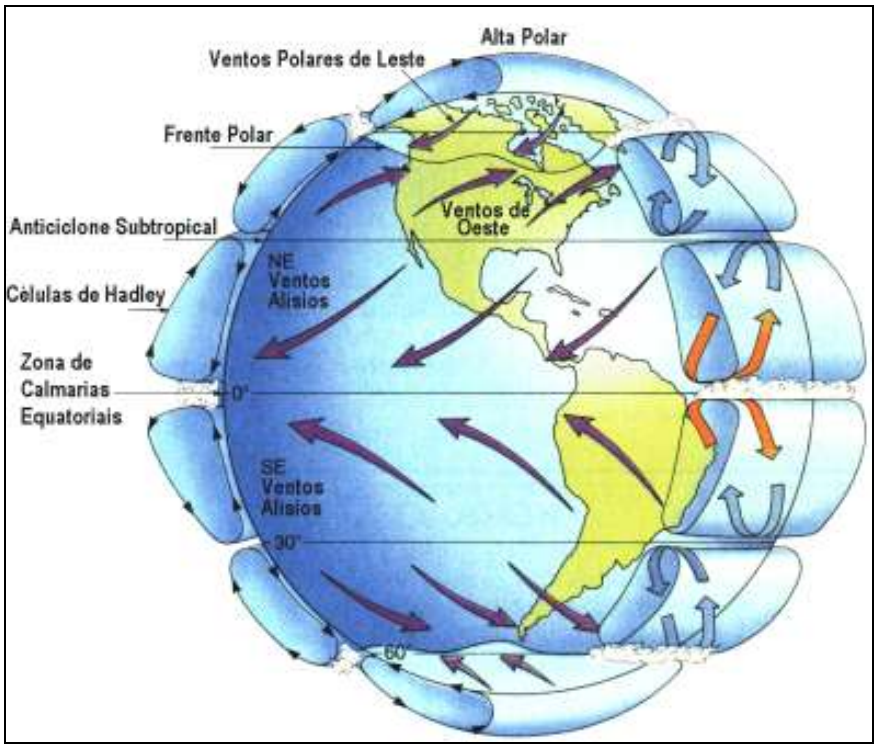


Figura 2 – Circulação global idealizada no modelo de três células (SOARES, 2005)

Parte da massa de ar que descende no Trópico de Capricórnio orienta-se para sul, propiciando ventos de norte e, na medida que atua a força defletora, os ventos variam para noroeste tornando-se de oeste na latitude 60º S. Essa massa de ar, que se aqueceu em contato com a superfície terrestre, encontra-se com as massas polares mais densas elevando-se na atmosfera. O contato entre essas massas de ar dá origem a uma descontinuidade, conhecida como frente polar.

Na frente polar, parte da massa de ar que se eleva adquire a orientação de Sul para o Norte, por influência da baixa pressão na alta atmosfera criada pela descendência do ar no Trópico de Capricórnio. Essa massa de ar, sofrendo a ação da força defletora, dá origem a ventos de sudeste em altitude. A circulação de massas de ar, elevando-se na frente polar e descendendo no Trópico de Capricórnio, interligadas por ventos noroeste de superfície e sudeste de altitude, constitui a Célula Temperada de Circulação Meridional (AYOADE, 1996; BARRY; CHORLEY, 1985; SOARES, 2005).

A outra parte da massa de ar que foi elevada na frente polar, é induzida a apresentar deslocamento Norte para o Sul em conseqüência da baixa pressão que se estabeleceu na alta atmosfera por descendência de ar sobre o Pólo Sul. Essa massa de ar dá origem a ventos de noroeste em altitude (AYOADE, 1996; BARRY; CHORLEY, 1985; SOARES, 2005).

Assim, a circulação constituída pela elevação do ar na frente polar, os ventos noroeste em altitude, a descendência de ar no Pólo Sul e os ventos de sudeste em superfície constituem a Célula Polar de Circulação Meridional. No hemisfério Norte ocorre uma Circulação Meridional semelhante à descrita para o hemisfério Sul (AYOADE, 1996; BARRY; CHORLEY, 1985; SOARES, 2005).

Na região do Equador ocorre o encontro dos alísios de nordeste e de sudeste, criando a região de convergência intertropical. Nessa região os ventos são fracos, as calmarias freqüentes e as correntes de ar ascendente originam nuvens convectivas e precipitações pluviais rotineiras. A convergência intertropical forma uma faixa em torno do globo terrestre que corresponde à região chuvosa equatorial (AYOADE, 1996; BARRY; CHORLEY, 1985; SOARES, 2005).

Nas proximidades da latitude de 30ºS, devido ao afundamento do ar na atmosfera, ocorre ausência de nebulosidade e, daí, pouca precipitação pluvial. A região define uma faixa em torno do globo terrestre que corresponde à região seca subtropical. Devido à divergência do ar junto à superfície, os ventos são fracos e as calmarias freqüentes (AYOADE, 1996; BARRY; CHORLEY, 1985; SOARES, 2005).

Em torno da latitude de 60ºS, o encontro dos ventos noroeste dos trópicos, denominados Predominantes de Oeste, com os ventos de sudeste das regiões polares, denominados Polares de Leste, cria a descontinuidade conhecida como frente polar. Nessa zona, ascensão do ar tropical sobre o ar polar cria outra zona de nebulosidade e precipitações pluviais. Essa região define uma faixa em torno da Terra que corresponde à região úmida polar (AYOADE, 1996; BARRY; CHORLEY, 1985; SOARES, 2005).

O Modelo de Circulação Geral da Atmosfera, descrito para a Terra em rotação e com superfície uniforme, permite explicar a existência das grandes zonas climáticas do globo terrestre; aquelas próximas ao Equador até 30º são denominadas Células de Hadley, as situadas entre 30º e 60º recebem o nome Células de Ferrel e as próximas aos pólos são denominadas Células Polares (Figura 2). As duas razões básicas para a quebra da circulação meridional são: i) nas proximidades do Equador o ar sobe em movimento estacionário ao sistema Terra em rotação; assim, a diferença de velocidade angular promove o movimento da massa de ar para leste; e ii) o atrito entre a atmosfera e a superfície terrestre resulta em força responsável pelos ventos de oeste (AYOADE, 1996; BARRY; CHORLEY, 1985; SOARES, 2005).

As quebras de circulação tomam forma de vórtices ciclônicos e anticiclônicos, responsáveis pelo transporte de calor a partir da faixa equatorial. Para tanto, as transferências do balanço energético na atmosfera ocorrem de modo que, ao mesmo nível de altitude, o saldo médio do movimento meridional através de um mesmo paralelo tende a zero (SOARES, 2005).

Em resumo, a atmosfera terrestre circula em uma série de gigantescos arcos. Em um desses movimentos, a Célula de Ferrel, o ar se desloca ao longo da superfície em direção a um dos pólos e volta pelo alto da atmosfera. Em outro movimento, a Célula de Hadley, a circulação se dá ao contrário. Tal circulação existe porque os raios solares não aquecem a Terra por igual: nos pólos a Terra perde mais calor para o espaço do que adquire do sol, enquanto que no Equador a Terra absorve mais calor do que perde. Portanto, segundo essa dedução, a atmosfera é mais fria acima dos pólos do que no Equador.

Não obstante, caso a atmosfera não se movesse, o ar acima dos pólos ficaria cada vez mais frio, e, acima do Equador, cada vez mais quente, o que impossibilitaria a vida. Assim, como o ar quente do Equador se eleva da superfície e avança em direção aos pólos, que são mais frios, empurrando o ar mais frio, pela superfície, em direção ao Equador e, próximo das latitudes 30°N e 30ºS o equilíbrio se aproxima de zero (Figura 3). Esse processo transfere boa parte do calor

excessivo do Equador em direção aos dois pólos e impede que as temperaturas do planeta sejam muito desequilibradas, o que contribui para existência da vida conforme a conhecemos.

Esses movimentos geram os ventos predominantes, que sopram em direção quase constante em determinadas latitudes em razão da circulação geral da atmosfera e da rotação da Terra. Fosse a Terra estática, os ventos soprariam diretamente para o norte ou para o sul; contudo, o movimento de rotação da Terra gera a força de Coriolis, que deflete os ventos. Assim, os ventos que sopram na direção norte ou sul sofrem um desvio para a direita no hemisfério Norte e para a esquerda no hemisfério Sul.

Entre 30 graus de latitude norte e 30 graus de latitude sul, os ventos que sopram em direção ao Equador desviam para o oeste, produzindo os ventos predominantes de leste, também conhecidos como ventos alísios. Pela mesma força, o vento que sopra nas latitudes médias, em direção aos pólos, é defletido para o leste, convertendo-se nos ventos predominantes de oeste, os quais sopram de oeste para leste. Em latitudes maiores, a força de Coriolis cria ventos polares predominantes de leste.

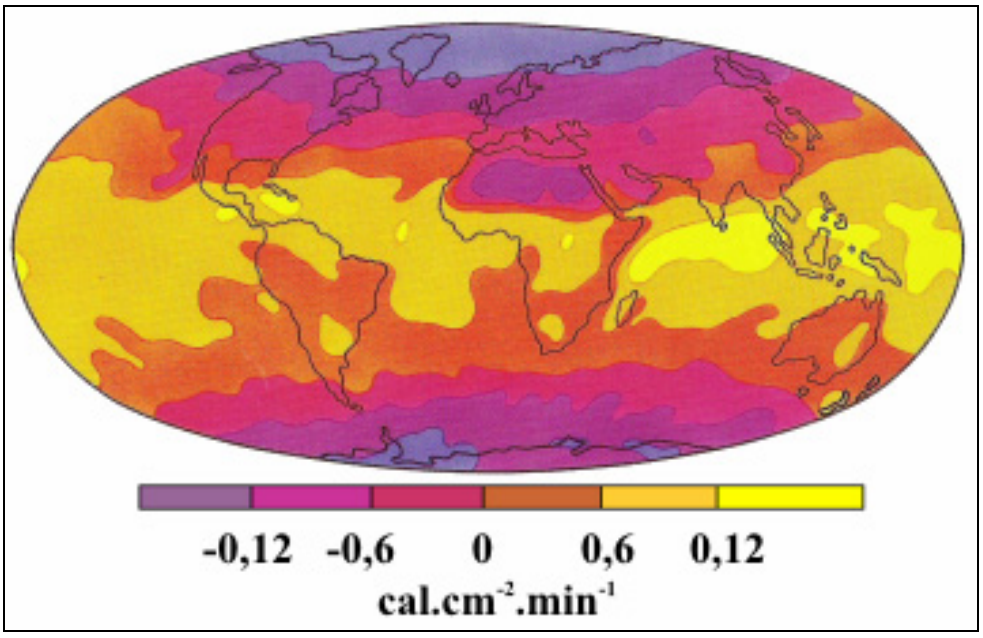


Figura 3 – Mapa de equilíbrio térmico terrestre em $cal.cm^{-2}.min^{-1}$ (SOARES, 2005)

2.1.2 Centros de pressão e ventos

O modelo de três células explica os movimentos de circulação geral na atmosfera; os limites de cada célula são marcados na superfície pelos anticiclones subtropicais, pela frente polar e pela frente Ártica ou Antártica — estas últimas são menos definidas —, enquanto que em níveis altos o limite polar da célula de Hadley é marcado pela corrente de oeste do jato subtropical e o limite polar da célula de Ferrel é marcado pela frente polar. Entretanto, a conjugação do maior aquecimento da faixa tropical com a diferença de aquecimento entre continentes e oceanos promove variações sazonais e diurnas. A ocorrência de massas continentais e oceânicas ao longo dos paralelos interrompe as faixas de altas e baixas pressões que se verificariam sobre uma superfície terrestre homogênea, formando-se centros de alta e de baixa pressão, alguns semifixos e outros que se deslocam com as estações do ano (BARRY; CHORLEY, 1985; BATTAN, 1979).

No verão, ocorrem no hemisfério Sul três centros de alta pressão anticiclones localizados sobre os oceanos Atlântico, Pacífico e Índico; em seus núcleos, localizados entre as latitudes de 25º a 35º S, a pressão é superior a 1.021 mB. Os limites desses centros de alta pressão se tocam, constituindo a faixa das altas pressões subtropicais (Figura 4), uma das importantes delimitadoras das células responsáveis pela circulação geral na atmosfera (BARRY; CHORLEY, 1985; SOARES, 2005).

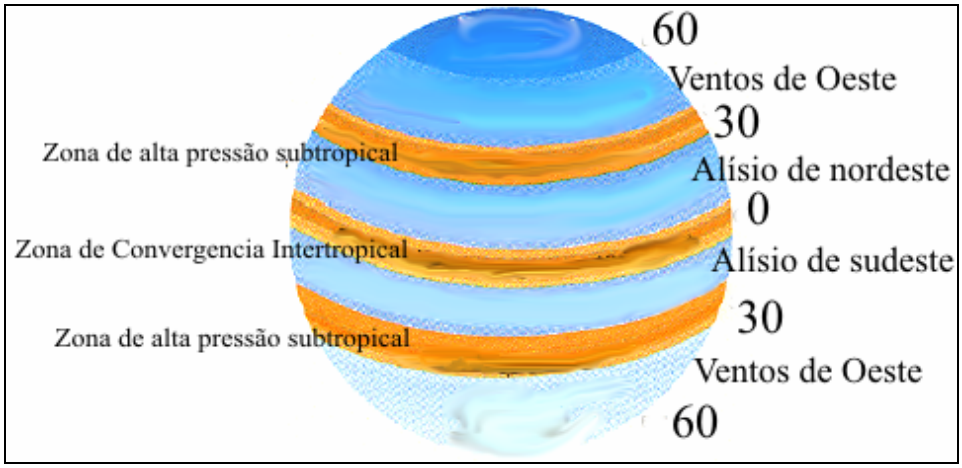


Figura 4 – Representação das regiões dos ventos predominantes, da Zona de Convergência Intertropical e das Zonas de alta pressão (SOARES, 2005)

Na região de baixas pressões do Equador, ocorrem três centros de baixa situados na América do Sul, África do Sul e Mar de Timor, entre as latitudes 5ºS a 12ºS. Seus núcleos apresentam pressões inferiores a 1.009 mB e formam a faixa irregular de baixas pressões equatoriais (Figura 4), inferiores a 1.013 mB, compreendida entre as latitudes médias de 15º N e 20º S. A zona de baixas pressões polares forma uma faixa contínua (Figura 4) em volta da Terra com pressões da ordem de 989 mB, latitude aproximada de 65ºS (BARRY; CHORLEY, 1985).

No verão, os centros de baixa pressão localizam-se sobre os continentes, em decorrência do maior aquecimento do ar sobre as vastas extensões de terra em relação aos oceanos. Já no inverno, o menor calor específico do solo faz com que os continentes se resfriem mais rapidamente que as massas de água, tornando, portanto, os oceanos relativamente mais quentes e a massa de ar em contato com ele menos densa, o que implica que, no inverno, os centros de alta pressão se localizem sobre os continentes e os de baixa pressão sobre os oceanos (BARRY; CHORLEY, 1985; SOARES, 2005).

No hemisfério Sul, a predominância de massas de água não permite o resfriamento dos continentes no inverno a ponto de os centros de alta pressão se desenvolverem sobre os continentes e de baixa pressão sobre os oceanos. Assim, na medida em que se avança do verão para o inverno, os centros de pressão alta se expandem, fazendo com que os centros de pressões baixas, existentes no verão, desloquem-se em direção ao Equador, perdendo sua identidade. Somente o centro de baixas pressões da América do Sul não perde seu caráter, localizando-se sobre a Bacia Amazônica e prolongando-se pela América Central até a Califórnia (QUADRO; ABREU, 1994).

No inverno a faixa subtropical de altas pressões é mantida por cinco centros de alta pressão situados no Pacífico Sul, no Atlântico Sul, no Sul da África, no oceano Índico e na Austrália, cujas latitudes aproximadas variam de 20ºS a 30ºS. A faixa equatorial de baixas pressões ocorre apenas entre os oceanos Pacífico e Atlântico, com um único centro de baixa pressão que se estende da Amazônia à Califórnia (QUADRO; ABREU, 1994).

Em virtude das faixas de pressão serem constituídas por centros, as direções dos ventos descritos no modelo de circulação geral sofre modificações locais. O desenho do campo de pressão, por sua vez, revelará a existência de centros dinâmicos, os anticiclones e os ciclones, em torno dos quais circulam os ventos (Figura 5).

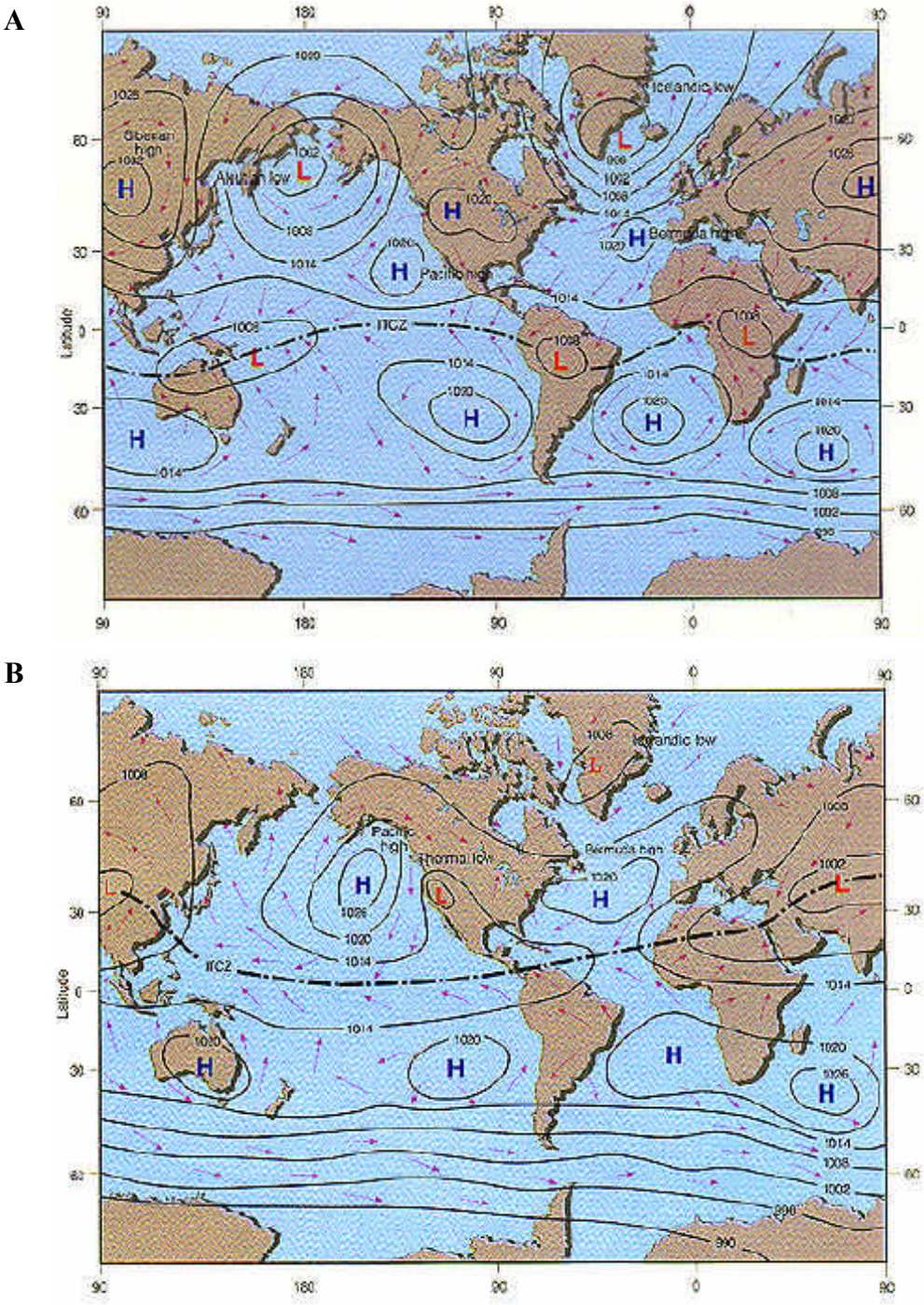


Figura 5 – Distribuição média dos centros de pressão e direção predominante dos ventos em Janeiro (A) e Julho (B) segundo Soares (2005)

Os anticiclones são gerados e circulam, basicamente, nas regiões oceânicas, mas avançam sobre áreas continentais no inverno. Sobre o mar, são mais intensos no verão, quando ocorrem baixas continentais em latitudes tropicais e subtropicais. Essas baixas se formam pelo intenso aquecimento dos continentes, particularmente no verão, e caracterizam-se pela circulação ciclônica horária no hemisfério Sul (BARRY; CHORLEY, 1985; SOARES, 2005).

Chamam-se ciclones extratropicais todos os ciclones não-tropicais; entretanto, em sua maioria, fazem parte dos sistemas frontais que se criam na região subtropical, no encontro das massas polares frias com a vertente quente dos anticiclones subtropicais proveniente da região equatorial. Ventos fortes e tempestuosos estão, em geral, associados aos sistemas frontais de origem polar, resultando em ventos frescos, fortes ou muito fortes no litoral sul do Brasil (QUADRO; ABREU, 1994; SOARES, 2005).

Uma das configurações mais admiráveis da circulação atmosférica, citada por Oliveira (1986), e que se evidência quando se examinam seções verticais do escoamento do ar ao longo da direção norte-sul, é a Corrente de Jato.

Correntes de Jato são escoamentos de ar movendo-se a velocidades superiores a 160 $km.h^{-1}$ e que ocorrem nos dois hemisférios; nas latitudes aproximadas de 35º são denominadas Corrente de Jato subtropical; já entre 40º e 70º são denominadas Corrente de Jato Polar, formando faixas onduladas em volta da Terra, com o escoamento dirigindo-se de oeste para leste. Essas correntes ocorrem próximo da Tropopausa, entre nove e 13 km de altura, limitando-se a poucos milhares de metros de profundidade e a dezenas de quilômetros horizontalmente (OLIVEIRA, 1986).

A Corrente de Jato situa-se, em geral, entre as massas de ar frias, originárias das altas latitudes, e as quentes, de origem tropical; portanto, localiza-se na região de máximos contrastes térmicos. Sua posição varia diariamente; em geral, localiza-se acima das áreas onde ocorrem grandes perturbações atmosféricas na superfície. É importante observar que, em ambos hemisférios e em todas as estações do ano, a Corrente de Jato circunda zonalmente a Terra; contudo, sua intensidade varia longitudinalmente em virtude das assimetrias zonais, notadamente dos continentes e oceanos (OLIVEIRA, 1986).

Cruz (2001) cita diversos autores cujos resultados obtidos indicam uma Corrente de Jato subtropical bem pronunciada sobre a América do Sul e o Pacífico Leste, a qual se intensifica na região do Pacífico Leste durante os anos de *El Niño* com implicações sobre a Zona de Convergência Intertropical e, conseqüentemente, sobre as condições atmosféricas dessas regiões.

Além disso, os autores observaram situações de bloqueios nas vizinhanças dessas regiões, favorecendo a manutenção de sistemas frontais ativos no sul do Brasil e contribuindo para a excessiva precipitação pluvial nas regiões Sul e Sudeste do país, dada a intensificação da atividade convectiva ali.

Sobre os centros de pressão, é possível inferir que a divergência nos centros de alta e a convergência nos de baixa definem o sentido dessa circulação, da maior para a menor pressão. Assim, numa direção próxima à direção geral das isóbaras, o vento se desloca sob ação das forças do gradiente de pressão, de Coriolis e centrífuga, o que implica que os ventos de superfície serão: i) entre cerca de 30ºN e o Equador, os alísios de nordeste e entre 30ºS e o Equador, os alísios de sudeste; ii) entre 30ºN e 60ºN, os ventos de oeste de sudoeste e entre 30ºS e 60ºS, os ventos de oeste de noroeste; e iii) entre 60ºN e 90ºN, os ventos polares de nordeste e entre 60ºS e 90ºS, os ventos polares de sudeste (SOARES, 2005).

O encontro dos ventos alísios provenientes dos dois hemisférios ocorre ao longo da Zona de Convergência Intertropical, área em que predomina a calma atmosférica sobre grandes extensões, fato já conhecido pelos primeiros navegadores. Entretanto, o fato de tratar-se de zona de convergência implica a existência de um fluxo vertical de massa, o qual resulta em nuvens pesadas e abundantes chuvas convectivas. Esses fenômenos meteorológicos, além das conseqüências imediatas sobre o Tempo e o clima, são também responsáveis pela liberação de energia para a atmosfera superior pela conversão de energia na forma de calor latente para energia na forma de calor sensível, ou seja, a atmosfera tropical é responsável pela maior fonte de energia para a atmosfera terrestre (BARRY; CHORLEY, 1985; SOARES, 2005).

Outra característica da Zona de Convergência Intertropical é sua periódica migração entre os dois hemisférios em até 15º de latitude com relação ao Equador. Via de regra a Zona de Convergência Intertropical atinge sua posição média mais ao norte - mais setentrional - no mês de Setembro, em torno de 10ºN, e mais ao sul - mais meridional - no mês de Março, em torno de 5ºS. Esse movimento coincide, aproximadamente, com as latitudes em que ocorrem as máximas temperaturas médias sobre os oceanos (CRUZ, 2001).

A região dos anticiclones subtropicais de ar subsidente supõe, tipicamente, uma inversão de temperatura, tempo estável, céu sem nuvens ou com pequena nebulosidade. No entanto, os ventos alísios fornecerão à Zona de Convergência Intertropical a umidade necessária à constituição daquela zona de instabilidade permanente. Além disso, a vertente ocidental do anticiclone

conduzirá ar quente e úmido, contribuindo para a formação dos Sistemas Frontais no encontro com a massa de ar polar em latitudes subtropicais (BARRY; CHORLEY, 1985; SOARES, 2005).

Outra formação importante para a América do Sul é a Zona de Convergência do Atlântico Sul. Climatologicamente, a Zona de Convergência do Atlântico Sul pode ser identificada como faixa de nebulosidade estendendo-se desde o sul da região Amazônica até a região central do Atlântico Sul, sendo que períodos de enchente na região Sudeste e veranicos na região Sul estão associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul no Sudeste e vice-versa (KOUSKY, 1979). Os mecanismos que originam e mantêm a Zona de Convergência do Atlântico Sul não estão ainda totalmente definidos; porém, estudos indicam que o sistema sofre influências tanto de fatores remotos quanto locais. Aparentemente as influências remotas, tais como a convecção na Zona de Convergência do Pacífico Sul, modulam o início, a duração e a localização da Zona de Convergência do Atlântico Sul, ao passo que, por sua vez, os fatores locais são determinantes para a ocorrência do fenômeno. Diversos podem ser os fatores locais; contudo, o único consenso parece ser quanto ao papel da convecção na região Amazônica, o que implica o regime de chuvas da região (CASARIN; KOUSKY, 1986).

Na circulação geral da atmosfera, ventos superiores provenientes do Equador, oriundos da Zona de Convergência Intertropical, subsidem próximos às latitudes 30ºS e 30ºN. A componente maior da força do gradiente de pressão, na direção normal, para fora, será equilibrada pela componente de Coriolis, para dentro, cuja existência depende da velocidade. Também em decorrência da velocidade, a componente centrífuga se somará à força de pressão segundo a normal, para fora. Seguindo o movimento, a velocidade horizontal, divergente, cortará as isóbaras segundo o maior ou menor efeito da força do atrito horizontal. Como resultado dessa composição, forma-se a célula anticiclônica, que apresenta sentido anti-horário no hemisfério Sul e cujas vertentes oriental e equatorial constituem, em conjunto, a forte corrente atmosférica dos ventos alísios, de sudeste rondando para leste, no hemisfério Sul, no nível da superfície (KAYANO; KOUSKY, 1992).

Considerando o exposto nesse tópico, os principais aspectos da circulação da superfície incluem o seguinte: i) um cinturão de ventos de leste em latitudes altas divergem a partir do anticiclone sobre os pólos; ii) um cinturão de distúrbios de oeste, entre 35º a 70º de latitude em ambos os hemisférios, dentro do qual estão contidas depressões e anticiclones, fazem a circulação geral mais complexa do que em latitudes baixas; iii) os anticiclones subtropicais, com centros em

torno de 30º de latitude em ambos os hemisférios, ficam sobre os principais oceanos subtropicais, sendo mais intensos nos meses de inverno, quando ficam, aproximadamente, 5º mais próximos do Equador; iv) os ventos alísios, de nordeste no hemisfério Norte e de sudeste no hemisfério Sul, que se estendem entre as latitudes 10º a 25ºN e 5º a 20ºS, respectivamente, são particularmente bem desenvolvidos nos meses de inverno sobre o lado leste dos maiores oceanos; v) a Zona de Convergência Intertropical é uma região com pressão relativamente baixa entre as latitudes 10ºN e 5ºS, onde os dois sistemas com ventos de leste convergem de cada hemisfério; vi) o eixo de nebulosidade da Zona de Convergência Intertropical sofre maior migração sobre os maiores continentes, especialmente sobre a África e a América do Sul, do que sobre os oceanos; e vii) a circulação superior é de oeste em quase todo lugar, exceto sobre os trópicos em Julho, onde um Jato Tropical de leste, em altos níveis, estende-se do Pacífico oeste até o oeste da África, com velocidade máxima sobre a Índia, sendo esta uma resposta à variação do gradiente de temperatura em altos níveis que ocorre durante as monções de verão sobre a Índia (BARRY; CHORLEY, 1985; SOARES, 2005).

Em virtude da posição semifixa do anticiclone do Atlântico Sul, o regime de ventos predominantes no Brasil fica condicionado à atividade desse centro de ação. Somente a região Norte é dominada pelos ventos de leste da Convergência Intertropical e pelos alísios de nordeste (FIGUEROA; NOBRE, 1990).

Em Janeiro, a região Norte do Brasil é varrida pelos ventos alísios de nordeste; a região Nordeste por alísios de nordeste e de sudeste e pelos ventos de leste da Convergência Intertropical; na região Sudeste predominam os ventos nordeste do anticiclone do Atlântico; na região Sul predominam os ventos de nordeste e sudeste do anticiclone do Atlântico e do Pacífico, respectivamente; a região Centro-Oeste é varrida por ventos de norte e nordeste do anticiclone do Atlântico (FIGUEROA; NOBRE, 1990). Em Julho, o regime de ventos no Brasil é bastante semelhante, havendo intensificação dos ventos de nordeste na região Norte, de sudeste na região Nordeste, de leste na região Sudeste, de sudeste na região Sul e de nordeste na região Centro-Oeste (FIGUEROA; NOBRE, 1990).

2.1.3 Sistemas frontais

Uma massa de ar pode ser definida como uma grande porção de ar, de grande espessura, que apresenta uma certa homogeneidade horizontal na distribuição das propriedades termodinâmicas. Entretanto, as propriedades das massas de ar são bastante variáveis e complexas, uma vez que as regiões-fonte não podem ser facilmente delimitadas e os processos de transformação são tantos e tão variados que as propriedades e a estrutura vertical observadas em casos individuais não podem ser facilmente explicadas. É conveniente adotar uma definição aproximada e uma teoria simplificada da formação de massas de ar, minimizando as questões mais complexas e adotando uma classificação genérica, ainda que baseada nas regiões-fonte (TALJAARD, 1972).

As massas de ar se formam sobre grandes áreas uniformes de terra ou de água, sobre as quais a circulação do vento é fraca. Sob tais condições, o ar próximo à superfície vai gradualmente adquirindo características uniformes que se aproximam daquelas da superfície, enquanto que o ar superior vai se ajustando às condições de temperatura e umidade da superfície. Os principais processos que permitem esse ajustamento são a radiação, a convecção vertical, a turbulência e o movimento horizontal (advecção). Assim, as propriedades observadas, quando se procura definir a massa de ar, segundo Ayoade (1996), Barry e Chorley (1985) e Varejão-Silva (2000), são: i) a temperatura, o que possibilita classificá-las em quente e fria; ii) a umidade, o que possibilita classificá-las em seca e úmida; iii) a profundidade, o que possibilita classificá-las em rasa e profunda; e iv) a estabilidade, o que possibilita classificá-las em estável e instável.

Denomina-se massa de ar quente aquela cuja temperatura é maior que o do ar que lhe é circunvizinho, implicando também temperatura maior que a da superfície sobre a qual ela se desloca. Já a massa de ar fria, proveniente dos pólos e deslocando-se para o oceano circumpolar, o achará mais quente que ela, caracterizando-se então como massa de ar fria. Fato semelhante sucederá com o ar que sai do continente sul-americano, na circulação dos ventos predominantes de oeste, para encontrar um oceano mais quente (TALJAARD, 1972).

A massa de ar é seca quando o processo que conduz à sua formação propicia permanente ausência de umidade, a exemplo daquelas que se formam depois da perda de água sobre a porção sul da América do Sul; é úmida a massa de ar que tende a ser permanentemente realimentada por vapor de água pela região-fonte, caso daquelas de formação marítima se o ar é aquecido por baixo, pelo oceano mais quente, ou mesmo quando o ar naturalmente úmido é transportado horizontalmente para regiões circunvizinhas (TALJAARD, 1972).

A espessura, ou profundidade, da massa é a sua medida vertical entre a base e o topo. A massa de ar tende a ser rasa quando sua formação favorece a compactação do ar - por exemplo, nas regiões em que a superfície é o limite inferior e no topo configura-se uma inversão de temperatura. A massa será profunda sempre que a sua estabilização propiciar a livre ascensão do ar até os limites superiores da atmosfera (TALJAARD, 1972).

Antes da descrição das principais massas de ar, é necessário classificá-las de acordo com as suas posições geográficas em Equatorial (E) e Antártida/Antártica (A); além das respectivas regiões-fonte em polar continental (Pe), polar marítima (mP), tropical continental (Te) e tropical marítima (mT) conforme apresentado na Figura 6 (TALJAARD, 1972).

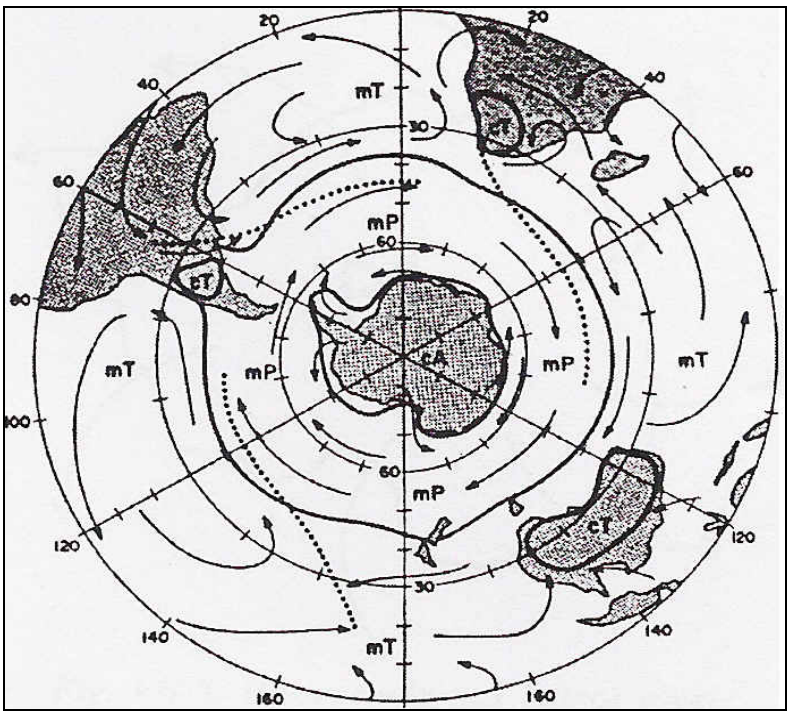


Figura 6 – Regiões-fonte e padrões de escoamento médio de massas de ar, no verão do Hemisfério Sul (TALJAARD, 1972)

A massa de ar Antártica - ou polar continental - é seca, pois é formada pelo ar que se aquece, perdendo umidade; é rasa e estável, pois é restringida pela descida do ar sobre a superfície continental, com predomínio dos movimentos descendentes; e quente, pois, ao apresentar maior temperatura que a superfície do continente, a despeito de suas temperaturas serem muito baixas - até 90ºC negativos - quando comparadas com outras massas de ar. Na região circumpolar a

região-fonte se altera, pois o oceano é quente em relação à superfície do continente. Assim, o ar que sai da Antártica, mais frio, é aquecido por baixo e tende a subir, aumentando a profundidade da massa de ar e promovendo a sua umidificação (TALJAARD, 1972).

A partir do aquecimento por baixo inicia-se o processo de destruição da inversão de temperatura, que vai prosseguindo até que a inversão seja totalmente destruída, gerando uma nova massa de ar fria, instável, profunda e úmida. Esse tipo de massa de ar, além de existir na região circumpolar antártica, ocorre também no litoral nordeste da Ásia e da América do Norte (TALJAARD, 1972).

Quando se comparam as configurações do verão e do inverno, na fronteira entre as regiões-fonte da Antártica continental e Polar marítima, observa-se que no inverno a margem de gelo é estendida para o norte, criando uma faixa cuja superfície formada pelo gelo marinho possui características específicas e formando a massa Antártida marítima. A massa de ar sobrejacente a essa região-fonte, intermediária entre a Antártica continental e a Polar marítima, será mais estável do que esta última, embora menos fria que a primeira. Costuma-se estabelecer como fronteira entre as regiões-fonte das massas de ar Polar marítima e Tropical marítima a convergência subtropical oceânica, aproximadamente, na latitude 41ºS (TALJAARD, 1972).

A massa Polar marítima, formada na região circumpolar antártica, pode ser conduzida pelos ventos predominantes de oeste até a extremidade sul do continente sul-americano. Nessas condições, levada a ascender nos Andes e com o resfriamento adiabático úmido, a massa perderá toda a umidade, gerando um microclima chuvoso, precipitação pluvial média anual da ordem de 3.000 mm. Ao atingir o topo da cordilheira a massa torna-se seca e, descendo a sotavento, pelo aquecimento adiabático seco atingirá uma superfície mais fria do que ela mesma em condições semelhantes ao que ocorrera sobre o continente antártico. Assim, forma-se uma nova massa quente, seca, rasa e estável, denominada Polar continental modificada, implicando microclima pouco chuvoso - cerca de 300 mm anuais - e semi-árido no sul da Argentina, (TALJAARD, 1972).

A massa de ar tropical marítima (Tm) é o principal tipo de massa de ar tropical produzida sobre os oceanos tropicais. É muito quente e úmida, e conduz calor e vapor de água na direção dos pólos. A Tropical marítima (Tm) do Atlântico Sul exerce forte influência na formação climática no Brasil, não apenas sobre as regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Leste, Sudeste e Sul, mas também na interação com a Polar marítima (Pmmod), na formação dos sistemas frontais sobre a

região oceânica, além da existência, posição e extensão da Tropical continental (Tc), no verão e no inverno (TALJAARD, 1972).

A massa de ar Tropical continental (Tc) é constituída de ar produzido sobre regiões áridas da faixa tropical e subtropical; portanto, trata-se de um ar quente e muito seco. No inverno, a Tropical continental (Tc) não é importante sobre a América do Sul. No verão, entre 20º e 30ºS na América do Sul, embora o ar costume ser estável devido à subsidência, o setor não é considerado uma região-fonte de Tropical continental (Tc), em função da taxa de umidade mais alta do que a característica desse tipo de massa (TALJAARD, 1972).

Usualmente as massas de ar são carregadas na circulação geral para longe de suas regiões de origem. Quando duas massas de ar, de regiões-fonte diferentes, encontram-se, tendem a preservar suas identidades físicas; como conseqüência, criam descontinuidades ao longo da zona limítrofe, denominada Frente. Nesse caso, cada uma das massas que constituem a Frente possui a própria circulação de ventos, cuja intensidade e direção dependem do campo de pressão, constituindo-se o encontro dessas massas em uma zona de convergência dos ventos nos baixos níveis, com ascensão do ar quente sobre o frio e conseqüências termodinâmicas, até a mistura das massas e a dissolução da Frente. Quando uma Frente cruza uma região, ocorre ali uma variação brusca nas propriedades do ar, devida à substituição de um ar pelo outro. É ao longo dessas Frentes que ocorrem as principais variações do tempo (AYOADE, 1996; BARRY; CHORLEY, 1985; VAREJÃO-SILVA, 2000).

Uma vez que as duas massas de ar se movimentam independentemente, cada uma delas alterará a outra, de modo que a interação de ambas promove a formação característica de uma onda, denominada Onda Frontal, região em que as isóbaras, antes paralelas às Frentes, sofrem distorção no início da formação da onda. Assim, a Onda Frontal é a deformação horizontal do tipo ondular, nos baixos níveis comumente associada a um máximo de circulação ciclônica, que pode chegar a desenvolver um ciclone ou uma Frente. Como conseqüência do gradiente de temperatura entre as duas massas que se opõem, no processo também está presente uma instabilidade que resultará no cisalhamento vertical do vento horizontal (TALJAARD, 1972).

Observa-se que uma Frente, ou um conjunto de Frentes a que se chama de Sistema Frontal, também é levado pela circulação geral. A região em que o ar quente substitui o frio recebe o nome de Frente Quente, ao passo que a área onde o ar frio levanta o ar quente, substituindo-o, é denominada Frente Fria. O ar quente, no sistema frontal do Atlântico Sul, provém do flanco oeste

da massa de ar Tropical marítima (Tm); por sua vez, o ar frio normalmente se origina da massa de ar Polar marítima modificada (Pmmod) constituída sobre a área sudoeste desse oceano (TALJAARD, 1972).

No ramo quente do sistema, isto é, na Frente quente, o ar quente tende a subir sobre o ar mais frio que ele está deslocando, produzindo um sistema de nuvens de até 1.200 metros de largura, implicando queda da pressão; assim, a Frente quente pode ser definida como aquela ao longo da qual o ar quente está substituindo o ar mais frio (MIRANDA de BARROS, 1991; TALJAARD, 1972).

Como o aclive da Frente quente é suave e na direção do movimento, a parte superior da superfície frontal quente pode estar muitas centenas de quilômetros à frente da porção da superfície. Durante a passagem da Frente Quente, no hemisfério Sul, a temperatura aumenta, o vento roda no sentido anti-horário e a chuva pára, podendo chuviscar ou ocorrer nevoeiro algum tempo depois da ronda do vento. No setor quente o céu é geralmente claro ou parcialmente nublado e, como o ar quente é usualmente úmido, pode ocorrer neblina ou cerração (MIRANDA de BARROS, 1991).

Admitem-se duas espécies de frente quentes: i) a de ar estável, quando o ar quente e o ar frio envolvidos são estáveis; e ii) a de ar instável, quando o ar quente em ascensão for instável (MIRANDA de BARROS, 1991; TALJAARD, 1972).

A tendência da Frente estável é ser constituída de nuvens estáveis; a precipitação pluvial associada costuma ser intensa no início da ascensão do ar, apesar das gotas pequenas, mas decresce até cessar. Na Frente instável, além das nuvens estratiformes, aparecem outras, particularmente os cúmulos-nimbos, que, de forte desenvolvimento vertical, deverão produzir tempestades adiante da Frente (MIRANDA de BARROS, 1991; TALJAARD, 1972).

No caso da Frente Fria, o ar frio que avança, mais denso, tende a entrar como cunha por baixo do ar mais quente; ao contrário do que ocorre na Frente Quente, o aclive aqui é para trás e menos inclinado, estando a porção superior ligeiramente recuada em relação ao movimento da frente fria na superfície. Portanto, pode-se definir a Frente Fria como aquela ao longo da qual o ar frio está deslocando o ar quente (MIRANDA de BARROS, 1991; TALJAARD, 1972).

São dois os principais tipos de Frentes Frias citados por Miranda de Barros (1991) e Taljaard (1972): i) de deslocamento rápido e ii) de deslocamento lento.

A Frente Fria de deslocamento rápido é caracterizada por movimento descendente acima e abaixo da superfície frontal e movimento ascendente do ar adiante da frente. Quando possui ar instável, essa Frente produz trovoadas quase contínuas ao longo dela, além de trovoadas e aguaceiros adiante, formando linhas de instabilidade. A região de tempestades a ela associada tem, tipicamente, de 20 a 50 km de largura e de algumas centenas a 2.000 km de extensão. Tais formações ocorrem quando os ventos acima da superfície frontal fria estão se movendo na mesma direção da Frente. Já com ar estável ocorre uma extensa cobertura de nuvens adiante da frente, promovendo chuva generalizada. A nebulosidade predominante nas duas espécies de deslocamento rápido costuma ser uma faixa extensa e contínua de cúmulos-nimbos, as quais deixarão um rastro de cirros característico. Após a passagem, geralmente ocorre turbulência, com ventos de rajada na superfície (MIRANDA de BARROS, 1991).

A Frente Fria de deslocamento lento se distingue pela ascensão do ar quente ao longo da superfície frontal, possuindo também duas espécies, a de ar estável e a de ar instável. Na de ar estável, desenvolve-se, na extensão da Frente, um sistema de altos-estratos e nimbos-estratos, ocorrendo precipitação pluvial atrás da massa fria, logo após a passagem da Frente, também podendo ocorrer a formação de nevoeiro frontal. Sendo de ar instável, novamente se observará a predominância de nuvens convectivas, principalmente cúmulos-nimbos, aumentando a freqüência de trovoadas (MIRANDA de BARROS, 1991).

Antes da passagem da Frente Fria, pode ocorrer alguma precipitação pluvial ou, eventualmente, trovoada. Haverá intensificação dos ventos e queda de pressão barométrica, com temperatura estável ou com ligeiro declínio, durante a chuva pré-frontal (MIRANDA de BARROS, 1991; TALJAARD, 1972).

Quando passa no hemisfério Sul a Frente Fria mais escarpada e de movimento mais rápido que a quente, o vento ronda no sentido anti-horário, a temperatura cai rapidamente e ocorrem, com freqüência, breves e violentos aguaceiros, acompanhados por trovões e relâmpagos. A nebulosidade predominante é a cumuliforme, marcando presença os cúmulos-nimbos, acompanhados ou não de altos-estratos. A Frente Fria costuma coincidir com uma linha de mudança de vento bem definida, ao longo da qual o vento ronda abruptamente de norte ou noroeste para sul ou sudoeste. Após a passagem da Frente Fria, pode ainda ocorrer chuva torrencial, com ventos, mas logo a pressão começa a aumentar e o Tempo fica limpo, com a dissolução da nebulosidade (MIRANDA de BARROS, 1991).

Devido à maior velocidade e à inclinação abrupta, que pode aproximar-se ou mesmo exceder a vertical junto à superfície da Terra, por causa do atrito, a Frente Fria é mais rápida que a quente, aproximando-se da última, deslocando o ar quente para cima e reduzindo o setor quente. Ao encontrarem-se as duas Frentes, terá início a formação de um terceiro tipo de Frente, a Frente Oclusa (MIRANDA de BARROS, 1991).

Duas são as espécies de Frentes Oclusas: i) a de Frente Quente e ii) a de Frente Fria. Na de Frente Quente, o ar frio adiante da Frente Quente é mais frio que o ar atrás da Frente Fria, de modo que a Frente Fria que se formou no solo é forçada a subir. Já na de Frente Fria, ao contrário, o ar frio atrás da Frente Fria é mais frio que o adiante da Frente Quente, razão pela qual a Frente Quente é que é levantada de sua proximidade com o a superfície da Terra (MIRANDA de BARROS, 1991).

Para o melhor entendimento da denominação, deve-se observar que, na Frente Oclusa de Frente Quente, é a Frente Quente quem predomina, comandando o processo de oclusão e fazendo levantar-se a Frente Fria.

No caso da Frente Oclusa de Frente Fria, é a Frente Fria que conduz o processo, elevando a Frente Quente. Porém, qualquer que seja a espécie de Frente Oclusa, o tipo de nebulosidade observado será a combinação da que se obtém em cada uma das Frentes que a constituem, ou seja, nuvens estratiformes, provenientes do setor quente, e nuvens cumuliformes, provenientes do setor frio. A precipitação pluvial acontecerá em ambos os lados da Frente Oclusa; poucos dias depois da oclusão, quando o ar quente é substituído pelo ar frio, a pressão aumenta, restando um sistema de baixa pressão dentro do qual se detecta pequeno ou nenhum gradiente de temperatura e umidade (MIRANDA de BARROS, 1991).

Um quarto tipo de Frente é a Estacionária. Diz-se que uma Frente se encontra em tal situação quando seu deslocamento é mínimo por três ou mais dias. Pela própria dinâmica das Frentes, o setor frio não é o mais suscetível de tornar-se estacionário; entretanto, em situações de bloqueio promovido pelo anticiclone subtropical do Atlântico Sul contra a dissipação do sistema frontal, pode-se ter Frente Estacionária, se ela for alimentada por uma massa suficientemente fria. A frente estacionária, embora só apareça em determinadas regiões, normalmente na costa leste dos continentes, é geograficamente mais permanente que a frente polar e se caracteriza por um forte cisalhamento vertical na alta troposfera em função da ocorrência de Correntes de Jato (MIRANDA de BARROS, 1991).

Na América do Sul, geralmente os sistemas provenientes do Pacífico deslocam-se para leste, e, depois da passagem pela Cordilheira dos Andes, adquirem uma componente em direção ao Equador. Esses sistemas podem avançar pelo continente ou deslocar-se para o oceano Atlântico, sendo que seu movimento (Figura 7) está associado ao escoamento ondulatório de grande escala, enquanto que a intensificação ou dissipação está relacionada às características atmosféricas sobre o continente. (ANDRADE; CAVALCANTI, 2005).

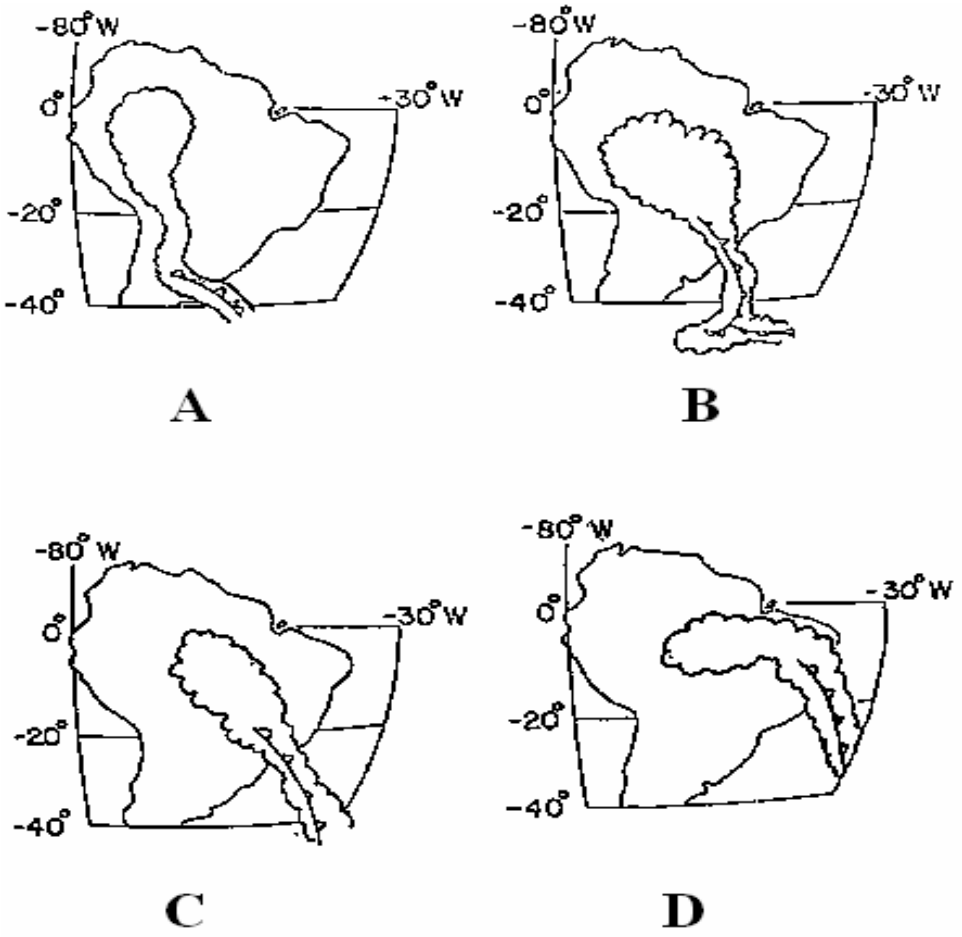


Figura 7 – Diagrama esquemático dos tipos de interações mais freqüentes em três Sistemas Frontais e a convecção tropical entre as latitudes 40ºS a 35ºS (A), 35ºS a 25ºS (B), 25ºS a 20ºS (C) e ao norte de 20ºS (D) (OLIVEIRA, 1986)

Já no Brasil, os sistemas frontais atuam durante o ano todo, com freqüências maiores nas latitudes mais altas e menores nas latitudes mais baixas. Sendo um dos maiores causadores de distúrbios meteorológicos sobre o país, notadamente quanto à precipitação pluvial e a

temperatura, a interação entre a convecção tropical e os sistemas frontais ocorrem mais freqüentemente quando os sistemas frontais se encontram entre 20º e 35ºS, sendo responsáveis pelas chuvas, principalmente, na região Sul do país (OLIVEIRA, 1986).

Destaca-se que às regiões Sul, além da Sudeste do Brasil, são de estrema relevância às condições climáticas do Brasil por serem bastante frontogenéticas, ou seja, regiões em que as frentes podem se intensificar ou se formar (SATYAMURTY; MATTOS, 1989).

Não obstante sua maior importância para as altas latitudes, a freqüência de Frentes Frias diminui com o decréscimo da latitude havendo uma variabilidade sazonal, a penetração de sistemas frontais e seus remanescentes também têm um papel importante na precipitação pluvial no sul da região Nordeste e nas chuvas de inverno da região Norte do país (KOUSKY, 1979).

A freqüência de Frentes aumenta no verão quando são consideradas as Frentes que atingem o Sudeste e Centro-Oeste. Nesse período, as Frentes Frias ao ingressarem no sul do país, associam-se a um sistema de baixa pressão em superfície sobre o Paraguai, conhecida como Baixa do Chaco, e intensificam-se. Estes sistemas, freqüentemente, ficam semi-estacionados no litoral da Região Sudeste, devido à presença de vórtices ciclônicos em altos níveis na região Nordeste, e ocorrem períodos de Zona de Convergência do Atlântico Sul quando as Frentes que atingem as regiões Sudeste e Centro-Oeste interagem com a convecção tropical. Assim, a permanência dos sistemas frontais sobre esta região organiza a convecção tropical nas regiões Central e Norte do Brasil e caracteriza a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (SATYAMURTY; MATTOS, 1989).

Durante o inverno, pode-se notar nas imagens de satélite o contraste térmico entre as duas massas separadas pela zona frontal no interior do continente da América do Sul. Esse contraste, em alguns casos, afeta a região central estendendo-se até o sul da região norte do continente sul-americano em um fenômeno chamado de friagem. A passagem das zonas frontais no inverno pelas regiões Sul e Sudeste do Brasil pode causar geadas nestas regiões, fato que os estudos de Algarve e Cavalcanti (1994) demonstraram os padrões típicos para ocorrência de geadas no sul do Brasil, concluindo uma análise com dados de 10 anos entre os anos de 1980 e 1989.

2.1.4 Célula de Walker e Oscilação Sul

As células de Walker (Figura 8) são células de circulação zonal, definidas na região equatorial, que se organizam entre os continentes e os oceanos, estando associadas ao aquecimento diferencial entre as massas continentais e as massas oceânicas, o que resulta em ascensão sobre os continentes e subsidência sobre os oceanos, notadamente nas regiões ocidentais do Pacífico e do Atlântico. A maior célula de Walker se estende da América do Sul à Indonésia, sendo que as temperaturas mais baixas são registradas junto à costa sulamericana (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1986).

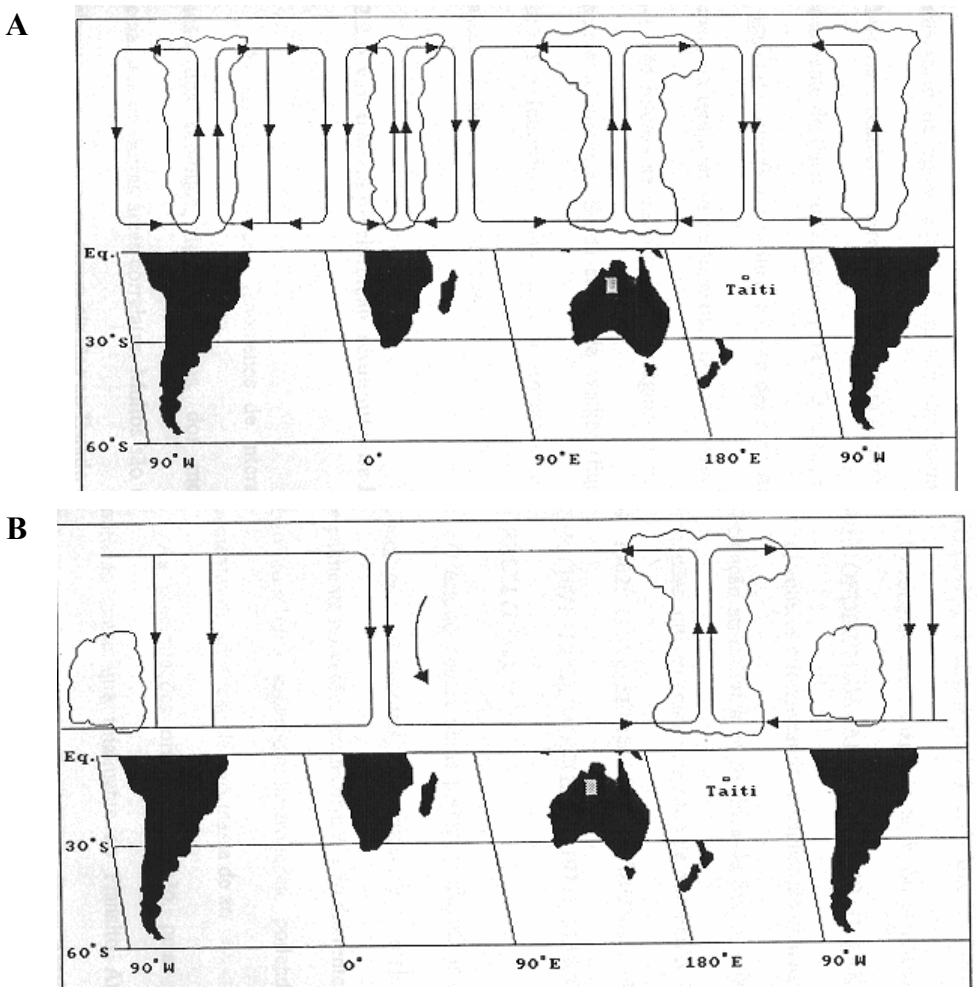


Figura 8 – Circulação de Walker para um ano normal (A) e de *El Niño* (B) (MOLION, 1989)

As células são utilizadas para explicar eventos climáticos extremos, a exemplo do *El Niño* e do seu oposto *La Niña*, e suas conseqüentes variações climáticas. Os dois eventos também se

associam à migração mais ao norte ou mais ao sul, respectivamente, da Zona de Convergência Intertropical, o que contribuiria para anomalias climáticas na região tropical (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1986).

Nas últimas décadas, eventos como o *El Niño* assumiram grande importância. O fenômeno é caracterizado por uma faixa de água quente na superfície do oceano Pacífico que se estende ao longo da costa Peruana até 10.000 km a oeste. O fenômeno *El Niño* tem sido responsabilizado por grandes anomalias climáticas na Terra; entretanto, as variações atmosféricas de grande escala que determinam essas anomalias só podem ser entendidas se considerarmos a ação combinada do *El Niño* com a Oscilação Sul, conjugação que se recebe a denominação *El Niño* Oscilação Sul (ENOS), segundo Molion (1989).

Em um levantamento da ocorrência do fenômeno *El Niño* entre os anos de 1525 a 1987, Quinn, Neal e de Mayolo (1987) classificaram a intensidade do fenômeno de acordo com os valores muito forte, forte, moderada, e fraca, além dos anos neutros, estes últimos entendidos como aqueles em que não houve manifestação do fenômeno. Quando o Índice de Oscilação Sul (IOS) manifesta-se negativamente por um período superior ou igual a 14 meses, num dos quais ocorre registro de IOS maior que três (Figura 9), pode-se então classificar o ano em questão como de intensidade muito forte. Se o fenômeno se manifestar por um período igual ou superior a dez meses, num dos quais os valores de IOS forem superiores a dois, pode-se considerar tal ano como evento de intensidade forte; se o valor for inferior a dois e o período de ocorrência for entre seis e dez meses, o ano é classificado como moderado. Ainda que acerca da manifestação de *El Niño* de intensidade fraca não seja possível estabelecer um padrão de classificação adequado, são tidos como anos fracos aqueles em que o IOS fica entre 0,5 e dois por um período superior a seis meses. Quanto à classificação da intensidade do fenômeno *La Niña*, observam-se as mesmas condições, porém com os valores de IOS negativos (Figura 9); quanto às manifestações neutras, consideram-se valores de IOS entre -0,5 e +0,5.

Segundo Quinn, Neal e de Mayolo (1987) e Instituto de Pesquisas Espaciais (2005a), dentre as diversas ocorrências de *El Niño*, os de intensidade muito forte ocorreram em 1578, 1728, 1791, 1828, 1877/1878, 1891, 1925/1926, 1982/1983 e 1997. O episódio de 1982/1983, de intensidade forte, foi objeto de inúmeros trabalhos que analisaram desde os comportamentos da temperatura e da pressão atmosférica do Pacífico Sul (WRIGHT, 1984) até o transporte de zooplâncton e fitoplâncton na costa oeste do Peru, como o trabalho de Carrasco e Santander (1987).

Em 1982/1983 e em 1987, o fenômeno *El Niño,* além de efeitos não locais, ocasionou chuvas torrenciais, enchentes e secas em diferentes pontos da Terra. Durante o evento 1982/1983, por exemplo, houve aumento da precipitação pluvial no Pacífico Equatorial; simultaneamente, ocorreram secas na Indonésia, Austrália, África do Sul e Nordeste brasileiro. No Brasil, em 1983, praticamente todo o Sul e o Sudeste apresentaram, nos trimestres de Março a Maio e de Junho a Agosto, precipitações pluviais que superaram os níveis normais. Os índices pluviométricos da cidade de São Paulo, por exemplo, apresentaram, em maio, elevação de 300%, enquanto que em Lajes, município do Estado de Santa Catarina, excederam a normal em mais de 650%, em Junho (MOLION, 1989).

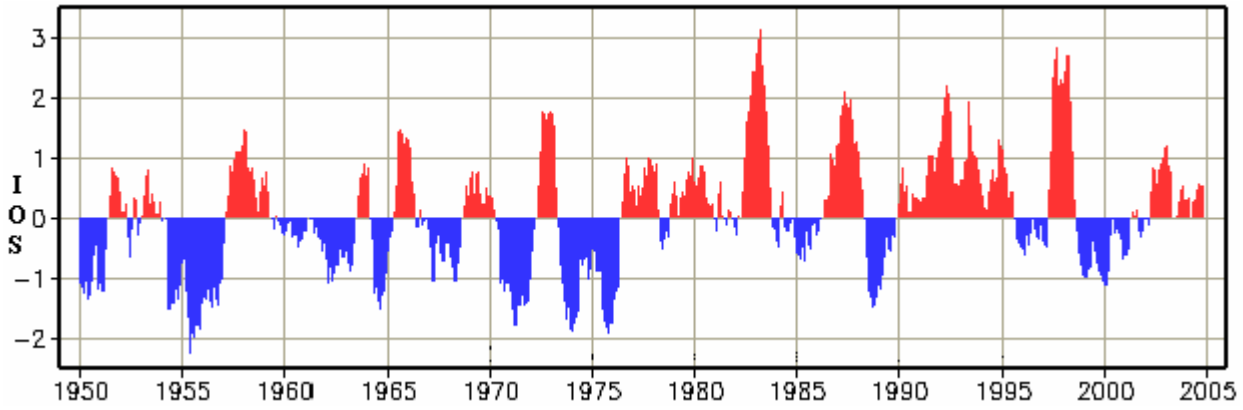


Figura 9 – Índice de Oscilação Sul (IOS) indicando os períodos de ocorrências de *El Niño*: valores positivos maiores que 0,5; *La Niña*: valores negativos menores que -0,5; e neutros: valores entre -0,5 e 0,5 (QUINN, NEAL; de MAYOLO, 1987; METEOROLOGICAL SERVICE OF CANADA, 2005)

Segundo Kousky e Cavalcanti (1984), a precipitação pluvial excessiva em 1982/1983 foi causada por frentes frias, que, bloqueadas, ficaram estacionadas por longo período sobre aquelas regiões, com grande atividade. Ainda segundo os autores, a tendência do fenômeno *El Niño* de ocorrer no verão no hemisfério Sul indica que o ciclo sazonal tem papel importante na Oscilação Sul. Se os alísios forem mais fortes do que o normal durante o verão, as águas do Pacífico Ocidental se aquecerão, pois haverá então 18 meses consecutivos de fortes alísios. Quando esses ventos enfraquecem, no verão seguinte, criam-se condições favoráveis para a ocorrência do evento *El Niño*, pois diminuem a intensidade dos alísios de sudeste e o transporte de águas frias; conseqüentemente, aumenta a temperatura da superfície do mar. Se os ventos permanecerem

fracos durante o inverno, seguir-se-á então um período de 18 meses de ventos fracos - essa poderá ser a duração do evento.

Rao e Hada (1987) estudaram a correlação entre Índice de Oscilação Sul e a precipitação pluvial para algumas estações brasileiras numa série de 41 anos, e obtiveram coeficientes de analogia mais altos para o Rio Grande do Sul. Para testar a validade do Índice de Oscilação Sul como preditor, os autores fizeram correlações trimestrais defasadas, encontrando também valores significativos; como conclusão, o monitoramento contínuo das condições do Pacífico e do Índice de Oscilação Sul nos meses de Junho a Agosto permite detectar a fase do evento e prever qualitativamente a precipitação pluvial do trimestre posterior no Rio Grande do Sul.

Kayano e Moura (1986), estudando o ano de 1958, semelhante ao de 1983, demonstram que o noroeste da Amazônia, o Nordeste brasileiro e as regiões equatoriais e sul do continente americano apresentaram um desvio negativo 20% superior ao desvio padrão durante a estação chuvosa, entre Fevereiro a maio. O estudo dos eventos *El Niño* ocorridos desde 1870 sugere a existência de uma estreita relação entre sua ocorrência e as secas, tanto no Nordeste como em outras regiões tropicais. A análise estatística indica que há 35% de probabilidade de ocorrência de um forte *El Niño* a cada sete anos e 82% de probabilidade de ocorrência a cada 15 anos.

Martorano et al. (1992), trabalhando com dados de precipitação pluvial pluviométrica em Belém, concluem que nas duas últimas décadas houve tendência no aumento das chuvas e que valores muito abaixo do normal, característica de estiagens prolongadas, estão intimamente relacionados à ocorrência de *El Niño* Oscilação Sul.

Dos exemplos citados, observa-se que o padrão geral de circulação atmosférica por vezes é alterado em razão do fenômeno *El Niño* associado à Oscilação Sul, semelhante à uma "gangorra barométrica" com dois pontos principais de ação: i) a Indonésia e o norte da Austrália e ii) o Pacífico Oriental, junto à costa oeste da América do Sul (WOT, 1986).

No caso da circulação de Walker nessa região, as águas do Pacífico Ocidental na extensão da Indonésia e no norte da Austrália são normalmente mais quentes que as da porção oriental desse oceano. Assim, é comum ocorrerem ali pressões atmosféricas mais baixas junto à superfície e, conseqüentemente, convecções que suscitam chuvas abundantes. Na região, o ar que sobe região até cerca de 10 km tende a se deslocar, vindo a subsidir lentamente sobre o Pacífico Central e Oriental. Nesta última área, a descida, ou subsidência, do ar, faz com que a pressão atmosférica da superfície aumente. Assim, em anos sem a presença do *El Niño* ou *La Niña*, ou seja, em anos

normais, observa-se a célula de circulação com movimentos ascendentes no Pacífico Central/Ocidental e movimentos descendentes no oeste da América do Sul e com ventos de leste para oeste próximos à superfície - ventos alísios representados pelas setas brancas na Figura 10 - e de oeste para leste em altos níveis da troposfera. No oceano Pacífico, a região apresenta-se com águas mais quentes representadas pelas cores em tons de vermelho e mais frias pelas cores em tons azuis na Figura 10. Pode-se ver também na Figura 10 a inclinação da termoclima, mais rasa junto à costa oeste da América do Sul e mais profunda no Pacífico Ocidental. (MOLION, 1989; WOT, 1986; WRIGHT, 1984).

O fenômeno da Oscilação Sul, representado pelo Índice de Oscilação Sul, que expressa a intensidade e fase do fenômeno, é determinado pela diferença entre os desvios da temperatura da superfície do mar (TSM), que afetam a de Pressão Atmosférica ao Nível do Mar, registrados nas estações meteorológicas do Taiti, localizada nas coordenadas 17°33' Sul e 149°31' Oeste no Pacífico Central, e Darwin, localizada nas coordenadas 12°20' Sul e 130°52' Leste no norte da Austrália (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1986).

A fase positiva da Oscilação Sul (Figura 10) ocorre quando os sistemas de altas pressões no Pacífico Oriental e o de baixas pressões na Indonésia se intensificam. Assim, quando a pressão atmosférica ao nível do mar no Taiti eleva-se acima da média e concomitantemente a de Darwin é inferior à média, tem-se o Índice de Oscilação Sul (IOS) positivo. Nessas condições, os movimentos ascendentes de ar se intensificam e a atividade convectiva cresce, aumentando as precipitações pluviais sobre a Indonésia e o norte da Austrália. Simultaneamente cresce a atividade convectiva sobre a Amazônia e o Nordeste brasileiro. O ar que ascende nessas regiões do Brasil desce sobre o Pacífico Centro-Oriental, bem como sobre o Atlântico Subtropical, contribuindo para o aumento da pressão atmosférica ao nível do mar e inibindo a formação de nuvens e chuvas, num movimento que configura o outro ramo da célula de Walker, conforme apresentado na Figura 8 (MOLION, 1989; WOT, 1986; WRIGHT, 1984).

Durante a fase positiva da Oscilação Sul (Figura 10), denominada por *La Niña*, o aumento do gradiente horizontal de pressão, ou seja, a diferença entre a pressão de Taiti e Darwin, intensifica os alísios de sudeste; em conseqüência, há um acentuado transporte de águas na direção oeste desse oceano, o que provoca o incremento da ressurgência, isto é, o afloramento de águas mais frias, desde a costa oeste da América do Sul até o Pacífico Central (WRIGHT, 1984).

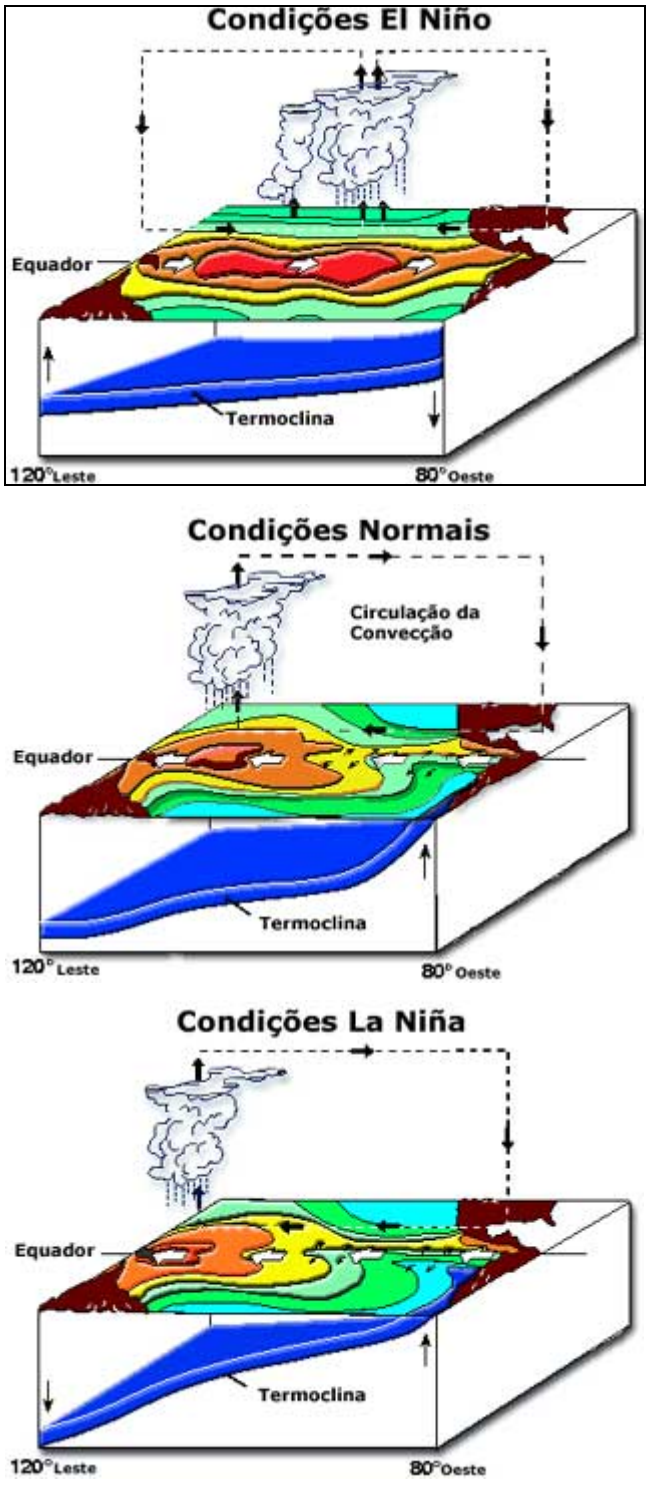


Figura 10 – Representação esquemática das condições de *El Niño*, normais e de *La Niña* (INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2005a)

Na fase negativa (Figura 10), denominada por *El Niño*, tanto o sistema de baixa pressão, na Indonésia e norte da Austrália, como o de alta pressão, no Pacífico Oriental, enfraquecem. O gradiente horizontal de pressão atmosférica ao nível do mar reduz-se fazendo com que os alísios diminuam de intensidade, por vezes a tomam o sentido inverso na parte ocidental do Pacífico. Assim, o transporte de águas e a ressurgência diminuem, promovendo uma série de fenômenos oceânicos, entre os quais se destacam as ondas de Kelvin, ou seja, o deslocamento interno do Pacífico Ocidental para o Oriental ocasionando um brusco aquecimento das águas de superfície próximas à costa oeste da América do Sul. Assim, no Oceano Pacífico Equatorial podem ser observadas águas quentes em praticamente toda a sua extensão, a termoclima fica mais aprofundada junto à costa oeste da América do Sul principalmente devido ao enfraquecimento dos ventos alísios (WRIGHT, 1984). A convecção intensa se desloca sobre as águas aquecidas mudando a configuração da célula de Walker para bipartida, assim, o ar descerá tanto sobre a Austrália e Indonésia como sobre a Amazônia e Nordeste brasileiro, determinando escassez de chuvas nessas regiões brasileiras (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987).

Portanto, as condições que indicam a presença do fenômeno *El Niño* são o enfraquecimento dos ventos alísios e o aumento da temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico equatorial leste promovendo a diminuição das águas mais frias que afloram próximo à costa oeste da América do Sul. Em condições normais observam-se águas superficiais relativamente mais frias no Pacífico Equatorial leste, junto à costa oeste da América do Sul, e relativamente mais aquecidas no Pacífico Equatorial Oeste, próximo à costa australiana e região da Indonésia. Nesse caso, os ventos alísios sopram de leste para oeste favorecendo a ressurgência próximo à costa oeste da América do Sul.

Já as condições que indicam o fenômeno *La Niña* estão associadas à intensificação dos ventos alísios e ao declínio da temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico Equatorial leste, implicando em que as águas da costa oeste da América do Sul tornam-se ainda mais frias devido à intensificação da ressurgência (INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2005a).

Considerando a possibilidade da implicação do *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) na definição zonal do clima regional, é possível inferir pela importância do seu estudo na produção agrícola. Nesse caso, trabalhando com produção de grãos para o Estado do Ceará entre os anos de 1986 a 1993, Moura (1994) e Alves e Repelli (1992) mostram estreita relação entre *El Niño* Oscilação Sul (ENOS), redução da precipitação pluvial e redução da produção agrícola. Para os anos

analisados três episódios de *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) ocorreram em 1986/1987, 1991/1992 e 1992/1993 e, em todos os anos, houve redução da produção agrícola e da precipitação pluvial. Para o ano de 1987, a precipitação pluvial e a produção agrícola estiveram 15 e 30%, respectivamente, abaixo da média. O ano de 1992 apresentou precipitação pluvial 27% abaixo da média e, um decréscimo de 18% na produção de grão e em 1993 a precipitação pluvial esteve 45% abaixo da média e a produção agrícola apresentou redução de 61 %.

Conforme destacado, há que se considerar a importância do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul para o clima global, definindo assim suas atuações regionais (Figura 11). Entretanto, Santos (1993), trabalhando com dados de chuva na região de Belém-PA, observa um decréscimo dos totais pluviométricos em anos de *El Niño* Oscilação Sul. No entanto, esse fenômeno parece não ser fator determinante no comportamento das chuvas da região, pois além desse fenômeno, a temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico influência diretamente a quantidade de chuvas, principalmente no trimestre Janeiro-Fevereiro-Março, considerado período mais chuvoso na região, época em que a Zona de Convergência Intertropical oscila na faixa equatorial.

Considerando o exposto sobre o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul, notadamente quanto a sua atuação regional e importância para a produção agrícola, é possível inferir pela importância do seu estudo na definição das áreas atuação e magnitude de seus efeitos no território brasileiro.

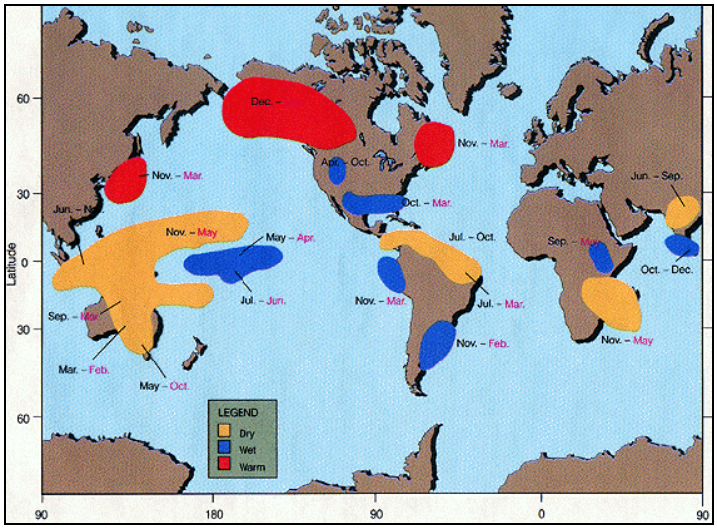


Figura 11 – Áreas do globo que apresentam anormalidades periódicas em função de *El Niño* Oscilação Sul (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987)

2.1.5 Previsão do clima e do Tempo

A previsão tem sido o maior estímulo para o estudo do Tempo e do clima, pois é ancestral o desejo do Homem de predizer e de modificar o Tempo. O termo "previsão" foi aplicado pela primeira vez na meteorologia pelo Almirante Fritzroy e significa o enunciado antecipado das condições meteorológicas para um determinado lugar, área, ou rota durante um período específico de tempo cronológico (WOLFE, 1961; MOURA, 1986).

As previsões de tempo são freqüentemente classificadas de acordo com os três tipos que se seguem, tomando-se por base o período coberto pelas previsões: i) previsões de período curto para parte ou para a totalidade de um período de 24 horas, com uma previsão adicional para as 24 horas seguintes, também denominada previsão do Tempo de curto prazo; ii) previsões de amplitude média, realizadas para um período de 2 a 5 dias à frente, denominadas previsão do Tempo de longo prazo e; iii) previsões realizadas para período maior que 5 dias, denominadas previsão do clima (AYOADE, 1996).

Muito embora técnicas diferentes sejam usadas para as várias modalidades de previsões, os problemas básicos comuns a todas elas são: i) o conhecimento das condições da atmosfera em determinado período, e ii) o conhecimento das leis físicas que regem as mudanças de tais condições. Assim, as dificuldades encontradas são a carência de informações suficientes para a caracterização detalhada da situação ou do estado da atmosfera, além da demasiada complexidade das equações que expressam as leis físicas, o que requer algumas simplificações em nome de certa exatidão (AYOADE, 1996). Ou seja, o êxito total da previsão somente pode ser atingido se e quando tais dificuldades estiverem solucionadas, o que equivale a dizer que a meteorologia está longe de ser uma ciência exata. Previsões precisas são impossíveis; assim, sempre serão expressas em termos de probabilidade - e quanto mais longo o período das previsões, maiores os índices de erros.

Os métodos de previsão do Tempo podem ser classificados em três tipos principais: i) métodos sinóticos; ii) métodos estatísticos; e iii) métodos físicos ou numéricos.

A previsão sinótica vincula a representação diagramática dos sistemas de Tempo atmosférico com o tempo cronológico e a extrapolação dos desenvolvimentos de tais sistemas para o futuro, ou seja, o objetivo da previsão sinótica é produzir, a partir de uma carta sinótica de uma situação existente, uma carta similar, retratando a circulação em determinado período futuro de tempo cronológico. Essa carta da futura circulação da superfície da atmosfera é conhecida

como a carta prebarática, que pode ser preparada pela extrapolação das mudanças recentes para o futuro supondo-se que as mudanças que tenham sido observadas no passado continuem a ocorrer de maneira semelhante (ATKINSON, 1968). Muito embora essa suposição possa ser razoável para um período de até 12 horas, não será válida para intervalos mais longos. Além disso, a extrapolação das tendências atuais não pode prever novos desenvolvimentos; conseqüentemente, a técnica da simples extrapolação raramente pode ser usada com confiança nas previsões para períodos superiores a 24 horas. Entretanto, apesar de suas limitações, esses modelos são instrumentos úteis para a previsão do tempo, que por sua vez não muda de maneira casual.

Os métodos estatísticos também são usados em previsões de longo prazo, para um mês ou uma estação, a exemplo do Serviço Meteorológico Indiano que, utilizando equações de regressão linear, prevê as monções. Outra aplicação estatística é a previsão com base no *El Niño* Oscilação Sul, conforme utilizado por Mai et al. (2006) e Maia e Meinke (2006) na Austrália.

As abordagens sobre a previsão baseada em métodos estatísticos foram sumarizadas por Lamb (1972), conforme descrito a seguir: i) compreensão do relacionamento entre a condição física e, especialmente, a condição térmica da superfície da Terra e das características de grande escala da circulação atmosférica durante um período de estações ou anos; ii) estudo dos efeitos específicos sobre a circulação atmosférica e sobre o tempo das anomalias da temperatura do mar e do gelo marinho; iii) estudo dos efeitos dos vários tipos de perturbações solares, nas variadas escalas de tempo, sobre a circulação atmosférica; iv) identificação dos efeitos da poeira vulcânica e outras e das camadas de poluição sobre a circulação atmosférica, sobre o Tempo e o clima; v) identificação das escalas de tempo cronológico, da maneira de operação, bem como das origens físicas das tendências rítmicas ou cíclicas do Tempo atmosférico e do clima; vi) determinação das tendências de persistência estatística sobre os valores climatológicos; vii) estabelecimento das tendências estatisticamente seqüenciais; viii) identificação das situações análogas no passado e o monitoramento para a verificação de acontecimentos similares entre casos atuais e passados.

A despeito dos avanços contemporâneos na instrumentação para medidas meteorológicas, a exemplo da invenção do barômetro no século XVII, somente na metade do XIX foram realizadas as primeiras previsões subjetivas, divulgadas via telégrafo. Nesse caso, as cartas de pressão à superfície protagonizavam a aplicação do conhecimento científico para a previsão meteorológica, matéria que suscitava o interesse das sociedades. Até o trabalho de Richardson, em 1922, utilizando pela primeira vez um sistema de equações para tentar conhecer a evolução do Tempo, a

meteorologia não evoluiu significativamente na previsão do Tempo. Valendo-se de simples calculadoras, Richardson não logrou êxito, pois aquelas equações parciais, não-lineares, eram de difícil, se não impossível, solução. Além disso, era necessário simplificá-las, conhecer as condições iniciais e, mais, utilizar métodos de cálculo extremamente rápidos, para que a mudança do Tempo meteorológico não ultrapassasse o tempo cronológico do previsor (WOLFE, 1961; MOURA, 1986).

A simplificação das equações poderia acarretar erros grosseiros; portanto, conhecer as condições iniciais era um problema insuperável. Era necessário um conjunto de estações que medissem as variáveis do sistema, uma rede de comunicações que transmitisse esses valores aos centros de previsão, e máquinas que calculassem rapidamente. Toda essa problemática foi sendo resolvida ao longo dos anos; expandiram-se redes de estações e comunicações, aperfeiçoaram-se os instrumentos de medida e surgiram os computadores. Assim, em 1950, Chamey, Fjortoft e Von Newmann, utilizando um sistema de equações simplificado, conseguiram uma previsão de 48 horas com precisão semelhante aos dos melhores resultados subjetivos: tinha início a previsão numérica do tempo (WOLFE, 1961; MOURA, 1986; HALTINER; WILLIAMS, 1971).

A partir daí experimentaram formidável avanço as providências para a consolidação da previsão numérica: em 1954, é designado um grupo de previsão numérica composto de pessoal da Força Aérea, da Marinha e do Serviço Meteorológico dos Estados Unidos; em 1958 é criado um projeto de previsão numérica em apoio às operações navais norte-americana; em 1959, o Serviço Meteorológico Britânico adquire seu primeiro computador para previsão numérica; em 1961, a Marinha dos Estados Unidos adquire seu primeiro computador para o processamento de modelos numéricos; a partir de 1965 o Serviço Meteorológico Britânico passa a produzir rotineiramente previsões numéricas; em 1974 a Marinha dos Estados Unidos torna operacional o primeiro modelo numérico de previsão de ondas (HALTINER; WILLIAMS, 1971).

A previsão numérica é baseada na criação de um modelo matemático constituído por um sistema de equações diferenciais parciais com o propósito de descrever os processos dinâmicos e termodinâmicos da atmosfera. Tais equações podem ser aproximadas de acordo com os processos físicos mais significativos para a previsão, a exemplo do indicado por Schenk Júnior, Barros e Fonseca (1995), que considera a segunda lei de Newton, a primeira lei da termodinâmica, o princípio de conservação da massa, a equação de estado para o gás perfeito e a equação da conservação da umidade para definição das principais equações. Nesse modelo são considerados,

entre outros aspectos, a ação das forças que controlam os movimentos atmosféricos, os processos termodinâmicos do ar seco e do ar úmido, as variações da umidade do ar, a formação de nuvens e precipitação pluvial, os processos turbulentos devido ao atrito, os efeitos do relevo, o balanço de radiação e as interações da atmosfera com a vegetação ou com as condições da superfície da Terra.

Para cada área de interesse de previsão cria-se um modelo matemático específico, de acordo com os processos envolvidos e as significações pertinentes, sendo que a sofisticação do modelo, em geral, aumenta a precisão dos resultados; entretanto, requer maior esforço computacional. Outro aspecto é que o modelo matemático não resolve o problema da previsão, pois a solução analítica do sistema é inviável, a menos que sejam introduzidos erros grosseiros de simplificação que a inviabilizam. Assim, é possível distinguir entre o modelo matemático, composto por um sistema de equações, e o modelo numérico de previsão, composto por um sistema de equações discretas solúveis (SCHENK JÚNIOR, BARROS; FONSECA, 1995).

Dentre os métodos de discretização dos modelos numéricos destacam-se: i) o método das diferenças finitas, indicado para modelos locais por definir adequadamente os contornos e não recomendado para modelos globais; ii) o método semi-Lagrangiano, cuja principal virtude é a economia de recursos computacionais; e iii) os métodos de Galerkin, ideais para modelos globais, embora requeiram recursos computacionais complexos (SCHENK JÚNIOR, BARROS; FONSECA, 1995).

Os modelos de previsão numérica também podem ser classificados sob os seguintes aspectos: i) área de análise e previsão, composta por modelos globais, que consideram todo o planeta, e modelos regionais, que levam em conta áreas específicas, mas têm as condições de contorno definidas por previsões de modelos globais; ii) períodos de previsão, compostos por modelos de previsão do Tempo e modelos climáticos que diferem nas condições iniciais e de resolução; e iii) modelos que consideram a interação entre o oceano e a atmosfera, ou modelos acoplados, que consideram a previsão numérica para variáveis de massas de água com previsão climatológica mais acurada (SCHENK JÚNIOR, BARROS; FONSECA, 1995).

Segundo Schenk Júnior, Barros e Fonseca (1995), a previsão numérica pode ser dividida nas seguintes fases: i) análise objetiva: é a determinação da situação presente, para definir a situação inicial, com o propósito da integração do sistema de equações. Nesse caso são necessários valores das variáveis meteorológicas, os quais devem ser submetidos a um controle de qualidade antes do

uso. Um conjunto de dados em um determinado instante representa a situação em cada ponto de observação; mas, para a previsão numérica é necessária a representação da distribuição espacial dos parâmetros físicos em toda a região de interesse. Para tanto, é realizada a análise objetiva, com emprego de métodos geoestatísticos, sendo estabelecida uma grade sobre a área de interesse. Usualmente, a grade cobre uma área maior do que a área de previsão, de modo a minimizar os erros provenientes do limite da grade; ii) valores de parâmetros atmosféricos, como pressão e temperatura, são designados para a interseção da grade pela manipulação estatística dos dados observados a partir das redes de postos de superfície e das camadas superiores da atmosfera; iii) inicialização é o balanceamento dinâmico da estrutura da atmosfera obtida na análise objetiva para a minimização dos ruídos energéticos, pois, na atmosfera, os campos de vento e de pressão compõem um estado quase geostrófico; assim, a energia associada ao movimento geostrófico é relativamente pequena em razão de movimentos dissipativos, instabilidades dinâmicas e dispersão de energia, entre outros. Após a análise objetiva, os campos de massa e pressão não se encontram nesse estado de equilíbrio, pois não usar esse esquema para iniciar o processamento provocaria ruídos energéticos, contaminando as previsões nas primeiras 48 horas; iv) processamento: uma vez inicializado, o modelo passa a ser integrado de modo que, a cada ciclo de integração, determinam-se os valores de cada parâmetro físico, a exemplo dos componentes do vento, da temperatura, da densidade, da umidade relativa e da pressão, iniciais para o próximo passo de integração em relação ao tempo. Ou seja, essa é a fase de integração do modelo; v) pós-processamento: é o tratamento dos valores resultantes de modo que possam ser apresentados e analisados. Essa fase é realizada por outros sistemas computacionais específicos - destacando-se o *Grid Analysis and Display System* (INSTITUTE OF GLOBAL ENVIRONMENT AND SOCIETY, 2005) - os quais permitem o tratamento e a espacialização desejados ao conjunto de dados; vi) calibragem: refere-se ao conjunto de atividades, desde estudos para adequação à realidade, proveniente de controle de qualidade, até a implementação desse por meio de alterações necessárias. É fundamental o controle da qualidade dos produtos numéricos, pelos utilizadores, pois a partir da avaliação dos resultados são alteradas as falhas do modelo. Também é importante a manutenção dos modelos, pois o constante aprimoramento dos métodos numéricos e das técnicas de modelagem exige permanente atenção dos especialistas.

Portanto, são fundamentais para a adequada condução da previsão numérica o conhecimento da dinâmica da atmosfera e o conhecimento dos métodos matemáticos, aplicados à ciência em

questão, uma vez que é a integração de métodos científicos e tecnológicos, dentro desses dois campos de conhecimento, que determinarão sistemas de previsão eficazes.

Embora o Tempo meteorológico tropical seja menos variável do que em áreas extratropicais, a previsão nos trópicos tem algumas peculiaridades, especialmente porque as redes de observação nas baixas latitudes são menos densas do que as das latitudes médias e há falta de informações sobre as camadas superiores da atmosfera.

A previsão nos trópicos também é menos suscetível ao tratamento matemático do que na região temperada, pois não existe relação aproximada entre a distribuição dos ventos e das pressões nas latitudes baixas, implicando que sistemas bem definidos de pressão usualmente estão ausentes nos trópicos e as isóbaras dificilmente têm qualquer relacionamento com o Tempo atmosférico (AYOADE, 1996).

Ainda nas latitudes baixas, muitas das manifestações do Tempo são fenômenos de instabilidade incapazes de predição, pois o conceito de equilíbrio geostrófico é inaplicável nas latitudes baixas, em razão dos valores muito baixos da força de Coriolis. Assim, as isóbaras não fornecem uma indicação da velocidade e da direção dos ventos nas camadas superiores da atmosfera, que devem ser diretamente observadas ou medidas. Portanto, é necessário usar uma base diferente das isóbaras para a análise nos trópicos: o perfil aerodinâmico, linha traçada paralelamente à direção instantânea do vetor do vento em todos os pontos ao longo dele. Os perfis aerodinâmicos podem ser obtidos diretamente a partir das observações dos ventos ou podem ser computadorizados a partir da distribuição da pressão. Muito embora forneçam apenas uma indicação dos ventos, as velocidades dos perfis aerodinâmicos podem ser estimadas por meio da função da corrente, intimamente relacionada a eles, da mesma maneira que o vento geostrófico está relacionado às isóbaras (AYOADE, 1996).

Da mesma forma, nos trópicos a convergência e a divergência somente podem ser estimadas a partir do campo observado do vento, diferentemente daquilo que ocorre na região temperada, onde podem ser pressupostas. Portanto, a utilidade das tendências barométricas para a previsão nas baixas latitudes também é limitada, pois seus valores são bastante baixos e, freqüentemente, não muito maiores do que os erros das leituras barométricas (AYOADE, 1996).

A partir dessas considerações sobre a previsão numérica nas regiões tropicais, é possível inferir que algumas técnicas usadas para a previsão do Tempo de regiões temperadas não são aplicáveis nos trópicos e que, quando aplicadas, têm que ser amplamente modificadas.

Independentemente de a previsão ser em região tropical ou temperada, há estreita relação entre a resolução de modelos numéricos e custo operacional. Isso se deve ao fato de que, em todas as fases da previsão numérica são realizados esforços de cálculo, o que demanda recursos computacionais de alta capacidade de processamento, proporcionais à complexidade do modelo e à precisão requerida. O emprego de supercomputadores permitiu grandes velocidades de processamento e modelos mais complexos e de melhor resolução; entretanto, essas máquinas possuem altos custos, exigem infra-estrutura e mão-de-obra especializadas, além das dificuldades impostas pelos países detentores da tecnologia (INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2005b, MESINGER, 2000).

Dos grandes centros mundiais de meteorologia que desenvolvem atividades de previsão numérica, destacam-se o Centro Nacional de Meteorologia dos Estados Unidos, o Centro Europeu de Previsão do Tempo de Mesoescala e a Agência Meteorológica Japonesa. Após o desenvolvimento do projeto de previsão numérica em apoio às operações navais, em 1958, e da operacionalização do primeiro modelo de previsão de ondas, em 1974, a Marinha norte-americana criou, em 1979, o *Fleet Numerical Oceanographic Center*, cuja missão é operar modelos numéricos atmosféricos e oceanográficos de análise e previsão em escala global e regional, a fim de produzir informações específicas para uso da Marinha, do Departamento de Defesa e de outros utilizadores credenciados (MESINGER, THOMAS; WARD, 1990).

No Brasil, o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), é um centro de meteorologia que funciona, tanto no aspecto operacional quanto na pesquisa, assim como os mais adiantados do mundo. Situado em Cachoeira Paulista, interior do Estado de São Paulo, sua existência resultou do esforço de pesquisa e formação de pessoal desenvolvido desde a criação do Departamento de Meteorologia do INPE, em 1976, cujo propósito era estabelecer no país um sistema confiável de previsão meteorológica e climática (MESINGER, THOMAS; WARD, 1990). O Decreto 93483, de 29 de Outubro de 1986, atribui ao INPE as seguintes tarefas: i) desenvolver e operar modelos de previsão de curto, médio e longo prazo, disseminando informações meteorológicas; ii) promover o arquivamento de informações meteorológicas, constituindo um acervo de dados históricos para pesquisas e aplicações; iii) desenvolver e operar modelos de flutuações climáticas; e iv) executar atividades de pesquisa em meteorologia e desenvolvimento tecnológico afim, diretamente ou pela celebração de acordos com outras instituições nacionais e internacionais. Atualmente, o CPTEC

utiliza dois modelos operacionais de previsão numérica do tempo, o CPTEC/COLA, de abrangência global, e o Eta, de abrangência regional (INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2005b).

O modelo global foi inicialmente desenvolvido pelo *Center for Ocean-Land Atmosphere Studies* (COLA), na Maryland University (Universidade de Maryland, EUA). Posteriormente, foi introduzido pelos pesquisadores do CPTEC um módulo de interação entre a atmosfera e a vegetação que se presta a regiões como a Amazônia e o Pantanal. É um modelo espectral baseado no segundo método de Galerkin, em que os dados são inicializados na forma de ondas das variáveis atmosféricas obtidas a partir da análise dos dados meteorológicos. A resolução truncada tem 28 níveis distintos da atmosfera e resolução horizontal tem 200 km. As variáveis prognósticas do modelo são: i) o logaritmo da pressão à superfície, ii) a vorticidade, iii) a divergência do vento horizontal, iv) a temperatura virtual e v) a umidade específica (CAVALCANTI, 2005).

O modelo Eta, descendente do modelo da criado pelo *Hydrometeorological Institute* e a Universidade de Belgrado, na Iugoslávia, durante a década de 1970, foi aprimorado na década de 1980 pela introdução da coordenada vertical η, que dá o nome ao modelo atual. Hoje, em suas várias versões, o modelo é usado em diversos países, incluindo a Argélia, a Argentina, a Bélgica, Camarões, a China, a Costa Rica, o Chipre, a República Tcheca, a Dinamarca, o Egito, a Finlândia, a Alemanha, a Grécia, a Índia, a África do Sul, a Espanha, a Suécia e os Estados Unidos. No Brasil, o modelo Eta foi instalado no CPTEC em 1996. Uma das principais vantagens dessa versão do modelo é a resolução espacial de 40 km e o domínio coberto da região entre 25°W e 90°W e 12°N e 45°S (MESINGER, THOMAS; WARD, 1990).

No Eta a análise é realizada sobre uma grade de resolução correspondente à resolução do modelo global e posteriormente interpolada para a grade do modelo, o que permite uma resolução horizontal de 40 km e vertical de 38 camadas. As principais variáveis prognosticadas pelo Eta são: i) temperatura do ar e da superfície, ii) água líqüida da nuvem, iii) componentes zonal e meridional do vento, iv) umidade específica e relativa do ar, v) pressão à superfície, vi) precipitação pluvial, e vii) radiação líqüida. A condição inicial para o Eta é proveniente da análise do *National Centers for Environmental Prediction*, e as condições de contorno lateral são provenientes das previsões do modelo global do CPTEC, atualizadas a cada 6 horas - o prazo de integração é de 72 horas, com geração de previsões duas vezes ao dia, uma com condição inicial às 00:00 e outra às 12:00 (MESINGER,THOMAS; WARD, 1990). Uma característica peculiar do

modelo Eta é a coordenada vertical η, que resulta em superfícies quase horizontais; assim, são minimizados erros de pressão em conseqüência da topografia irregular, o que torna o modelo adequado para regiões montanhosas (MESINGER, 1984).

Originalmente as previsões do Eta se estendiam por 48 horas, sendo geradas duas vezes ao dia; contudo, o projeto Processos Físicos em Modelos Regionais e Melhoria na Qualidade das Previsões de Tempo na América do Sul - que propõe o aprimoramento da previsão de tempo sobre a América do Sul por meio de técnicas de representação dos processos físicos, adaptadas para as condições atmosféricas da região - desenvolveu a nova versão Eta/OSU. Assim, o modelo teve êxito também em clima regional e predição sazonal (INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2005b).

Dentre as alterações promovidas no modelo Eta, destaca-se a previsão de nuvens (ZHAO; BLACK; BALDWIN, 1997) e a substituição da topografia. No caso da topografia, trata-se da substituição de 10", gerada com, aproximadamente 20 km, por uma nova topografia constituída por dados de elevação regularmente espaçados, a cada 30", equivalendo a, aproximadamente, um kilometro. Os resultados indicaram que há uma tendência de elevação da topografia quando se utiliza 30", principalmente em regiões montanhosas. Em regiões de topografia pouco acidentada, a resolução topográfica não é muito importante; em algumas áreas litorâneas, verificou-se redução da topografia. De forma geral, a topografia de 30" é mais realista do que quando se utiliza 10", o que resulta em melhoria nas previsões do modelo, em especial quanto às previsões da variável temperatura de superfície para todos os meses, com redução dos erros médios da ordem de até 2ºC (DERECZYNSKI; ROZANTE; CHOU, 2000).

A influência da resolução horizontal nas condições iniciais e de contorno nas previsões do modelo Eta/OSU foi avaliada para um episódio de chuvas tropicais intensas ocorrido em Dezembro de 1999 sobre a Venezuela; os resultados indicaram melhoria das previsões geradas (CHOU; NUNES; CAVALCANTI, 2000). Compararam-se também os resultados obtidos pelas previsões geradas pela versão operacional, cujo domínio abrange a maior parte da América do Sul e cuja fronteira ao norte situa-se em 12º N; concluiu-se que o afastamento da fronteira para o norte no modelo Eta/OSU propiciou previsões melhores do que as da versão operacional (CHOU; BUSTAMANTE; GOMES, 2005).

2.2 Milho

O primeiro relato da planta de milho foi feito por Cristóvão Colombo em Cuba. O centro de origem do grão é o continente americano, a partir de onde foi disseminado para o Velho Mundo, através da Espanha, graças à expedição de Colombo. Atualmente, a planta é cultivada praticamente em todas regiões do mundo - Ásia, África, Europa, além das três Américas. Encontramos culturas de milho desde a latitude 40ºS até 58ºN e em altitudes variando entre 3.000 m, nos Andes Peruanos, até abaixo do nível do mar, em regiões do mar Cáspio, o que levou a um alto grau de especialização e adaptação da planta. O milho foi o principal alimento das civilizações primitivas das Américas, responsáveis pelo seu processo de domesticação (GOODMAN, 1978).

Apesar de sua importância, a origem do milho foi por muito tempo um mistério para muitos pesquisadores, dado o alto grau de domesticação da planta e por não existirem ancestrais selvagens capazes de sobreviver sem a interferência do Homem. Parte do mistério parecia ter sido resolvido quando relatou-se a descoberta de grãos de pólen de milho com 80.000 anos no México, o que induzia a aceitação da hipótese de que existira um ancestral selvagem da planta, que, portanto, não teria evoluído a partir da hibridação de outras espécies (DUNCAN,1975).

Essas conclusões foram mais tarde suplantadas por novas descobertas. A partir de então, são aceitas três hipóteses para a origem do milho, todas relacionando sua procedência com teosinte (*Euchlaena mexicana*) e tripsacum. A primeira hipótese é a de que milho, teosinte e tripsacum originaram-se de um ancestral comum; a segunda suposição dá conta de que o milho originou-se do teosinte; a terceira conjectura prevê que o teosinte é originário do milho (MANGELSDORF, 1974).

Milho e teosinte são, de fato, bastante próximos, como atestam suas características genéticas, citológicas e morfológicas. Na realidade, milho e teosinte diferem apenas na flor feminina, característica que poderia ser alterada através de seleção praticada pelo Homem (GOODMAN, 1978).

A família *Gramineae* (*Poaceae*) conta com seis subfamílias. Destas, *Panicoideae* compreende as tribos *Paniceae*, *Andropogoneae* e *Maydeae*. A tribo *Mydeae*, a qual pertencem o milho e o teosinte, é dividida em grupos do Velho e Novo Mundo; vários caracteres indicam que o milho (*Zea mays*) tem correlação tanto com *Andropogeae*, tribo a qual pertence o tripsacum, quanto com *Maydeae*, do Velho Mundo (GALINAT, 1977).

Na tribo *Maydea*, o número básico de cromossomos é 10, enquanto o tripsacum apresenta nove. É possível o cruzamento entre algumas espécies de tripsacum e milho; contudo, o retrocruzamento entre o híbrido e o milho resulta na perda de cromossomos. Fato semelhante ocorre no híbrido tripsacum e teosinte. Já milho e teosinte cruzam com facilidade; ocorrem cruzamentos espontâneos entre os dois gêneros, com descendentes férteis (GOODMAN, 1978).

Citações de Goodman (1978) demonstram que o uso do milho como alimento pelo Homem é muito mais antigo do que o do teosinte. Na verdade, os grãos de teosinte não são fontes promissoras de alimentação humana. Contudo, trabalhos recentes preconizam o emprego de teosinte, ou de híbridos seus com o milho, na alimentação animal, sob a forma de silagem.

Assim, conclui-se que milho e tripsacum não são aparentados, ao menos até que surjam novas evidências, e que teosinte não é um híbrido derivado de milho e tripsacum. Ainda é válida a afirmação feita por Goodman em 1965 e citada por Goodman (1978): "até que sejam melhor conhecidas as relações genéticas e morfológicas entre o grupo *Maydeae* americano e *Maydeae* oriental e o *Andorpogonae*, comentar sobre a história do milho continuará a parecer uma tentativa de completar um quebra cabeças em que ¾ das peças estão faltando".

Atualmente o milho (*Zea mays* L.) representa um dos principais cereais cultivados em todo o mundo, fornecendo produtos largamente utilizados para a alimentação humana e animal e matérias-primas para a indústria, principalmente em função da quantidade e da natureza das reservas acumuladas nos grãos. Em função da sua multiplicidade de aplicações, tanto na alimentação humana quanto na dieta animal, o milho assume relevante papel socioeconômico, além de constituir-se em indispensável matéria-prima para vários complexos agroindustriais (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Comparado a outras espécies cultivadas, o milho tem experimentado avanços significativos nas mais diversas áreas do conhecimento agronômico, bem como nas áreas afins à ecologia e etnobiologia, o que acarreta uma melhor compreensão de suas relações com o meio e o Homem. Tais interações mostram-se fundamentais para o exercício da previsão de comportamento da planta, quando submetida a estímulos e a ações negativas advindas da atuação de agentes bióticos e abióticos no sistema produtivo (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Sendo uma das culturas mais tradicionais, a espécie ocupa posições significativas quanto ao valor da produção agropecuária, área cultivada e volume produzido, especialmente na região Centro-Sul do Brasil, que compreende as regiões Sudeste e Centro-Oeste, além do oeste baiano e

das meso-regiões norte e oeste do Estado do Paraná. Na última década, a produção de milho no Brasil cresceu significativamente, alcançando cerca de 36 milhões de toneladas. O crescimento ocorreu em função de vários fatores, dos quais o principal é o aumento efetivo da produtividade – – graças à introdução de genótipos mais produtivos —, associado a determinadas práticas culturais. Outro fator que muito contribuiu para o aumento da produção foi o crescimento da área cultivada com semeaduras de segunda época, a chamada "safrinha" para 3 milhões de hectares, dentro de um total de 13 milhões de hectares ocupados pela cultura de milho. Com relação às áreas produtoras de milho no Brasil, observa-se que ocorreu um deslocamento da cultura para novas regiões do Centro-Oeste. A área semeada varia em torno de 13 milhões de hectares, e a produção da ordem de 43 milhões de toneladas — a safrinha participa com cerca de 13% da produção nacional. Os maiores estados produtores são: Paraná (29,4%); Rio Grande do Sul (13,5%) e Minas Gerais (10,8%); no entanto, a região Centro-Sul representa na última década mais de 60% da produção nacional (TAVARES, 2002).

Contudo, mesmo com a introdução de genótipos mais produtivos nas últimas décadas, a média brasileira ainda é muito baixa quando comparada com países desenvolvidos, que varia de 8 a dez toneladas por hectares. De acordo com Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, nos ensaios nacionais de genótipos de milho de 2003/2004, o rendimento de grãos de milho foi da ordem de sete toneladas por hectare, destacando-se a superioridade dos genótipos de ciclo precoce em relação aos superprecoces e normais (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2005).

Os ensaios nacionais de milho são coordenados pela Embrapa Milho e Sorgo; a execução é realizada, cooperativamente, pelos pesquisadores e técnicos da cultura de milho no Brasil, otimizando-se os fatores bióticos e nutricionais. Entre os anos agrícolas 1997/1998 a 2001/2002, os ensaios nacionais foram conduzidos nas principais regiões produtoras de milho do Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Distrito Federal, Bahia, Rondônia e Pará. Na rede de ensaios instalada em 31 municípios, foram avaliados 15 genótipos. Portanto, os ensaios representam a produção potencial média dos germoplasmas brasileiros atualizados (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2005).

Para melhor compreensão dessa espécie e o estabelecimento do respectivo modelo de cultura, devem ser considerados sua fenologia e fisiologia, apresentadas nos tópicos 2.2.1 e 2.2.2, respectivamente.

2.2.1 Anatomia, morfologia e estádios fenológicos

Segundo Fancelli e Lima (1982), o milho pertence à família das *Poaceas*, à tribo *Maydeae* e ao gênero *Zea*, sendo o nome científico da espécie *Zea mays* L. A família *Poacea*, subdividida em várias tribos, a exemplo da *Maydeae*, a que o milho pertence, compreende sete gêneros, cinco deles asiáticos - Coix (capim rosário), *Sclerachne*, *Polytoca*, *Chiconachne* e *Trilobchne* - e dois americanos - tripsacum e *Zea*.

Mangelsdorf (1974) descreve o milho como planta altamente especializada para a produção de grãos, dependente do Homem para sua sobrevivência, anual, robusta e ereta, medindo de um a quatro metros ou mais de altura, e cujos órgãos vegetativos são tipicamente anuais, não sobrevivendo mais que um período vegetativo. Entretanto, para melhor compreensão, é indicado descrever sua estrutura desde a semente.

A semente, na verdade um fruto do tipo cariopse, é recoberta por uma fina camada incolor, vermelha, marrom ou variegada, cujas células são derivadas da parede do ovário, denominada pericarpo. Logo abaixo do pericarpo situa-se a camada de aleurona, constituída por uma única camada de células responsáveis pela produção de enzimas digestivas das substâncias de reserva durante a germinação. A "ponta", parte remanescente do tecido que conecta o grão ao sabugo, é chamada de pedicelo (CARVALHO; NAKAGAWA, 1988; DUNCAN 1975; GOODMAN; SMITH, 1978).

A maior porção da semente é constituída pelo endosperma, onde se encontram depositadas as reservas. O embrião fica ao lado do endosperma, possuindo um apêndice em forma de escudo, o escutelo. Em uma extremidade do embrião encontra-se a plúmula, estrutura contendo de quatro a cinco folhas já diferenciadas e recobertas pelo coleóptilo; em outra extremidade, está a radícula. Durante a germinação, o crescimento do embrião se inicia pelo ponto vegetativo da raiz, primeira estrutura a ser exposta da semente, seguido das raízes seminais emergidas do nó cotiledonar. A seguir desenvolvem-se raízes secundárias laterais, constituindo o sistema radicular primário em forma de cone, responsável pela nutrição da plântula jovem (CARVALHO; NAKAGAWA, 1988; DUNCAN 1975).

Uma planta de milho, com cerca de 15 centímetros, dispõe de todas estruturas formadas, e, posteriormente, seu crescimento é basicamente o aumento do volume e número de células. Para tanto, o embrião desenvolve-se originando o caule, do tipo colmo compacto com nós. Os seis a 10 nós abaixo da linha do solo emitem raízes adventícias responsáveis pela fixação da planta, sendo

que o diâmetro do sistema radicular incrementado a cada nó, o que confere um aspecto de cone invertido. Essas raízes emitem raízes capilares que se desenvolvem rapidamente e são responsáveis pela absorção de água e nutrientes (GOODMAN; SMITH, 1978).

O sistema radicular pode atingir até três metros de profundidade dependendo do ambiente; entretanto, é comum a presença de um sistema radicular bastante superficial, ao redor de 30 centímetros. Os nós situados imediatamente acima da linha do solo podem emitir perfilhos e/ou raízes adventícias denominadas "esporões", cujo número difere em função do genótipo e do ambiente. Em algumas variedades e/ou ambientes essas raízes adventícias podem perder o geotropismo (DUNCAN 1975; KIESSELBACH, 1949).

Nos nós situados mais acima encontram-se inseridas as folhas alternadas em forma dística, sendo cada entrenó envolvido pela bainha da folha inserida em seu nó basal. O meristema apical fica abaixo da superfície do solo até a planta atingir aproximadamente dez folhas. As folhas, cujo número pode variar de cinco a 48, são constituídas de duas partes principais: a bainha, que envolve os entrenós, e a lâmina ou limbo. Na linha de união da bainha e do limbo forma-se uma lâmina curta e perpendicular, denominada lígula, cuja principal função é restringir a entrada de água e impurezas, bem como a evaporação. A lígula varia ainda de tamanho com a posição da folha na planta e principalmente com relação à variedade, conferindo ângulo maior ou menor da folha em relação ao colmo. O limbo é geralmente longo, largo e plano, e é mantido ereto por uma nervura central e composto de epidermes inferior e superior. A epiderme superior é formada por células mais elongadas, apresentando pilosidade e menor número de estômatos que a epiderme inferior, característica que confere à planta, sob *deficit* hídrico, a capacidade de enrolar as folhas em forma de "cartucho", reduzindo assim a superfície de exposição ao sol e, conseqüentemente, minimizando a temperatura e a transpiração. Vieira Junior et al. (2004b) verificaram que a temperatura no interior do "cartucho" foi até dois graus inferior à temperatura do ambiente. Entre as duas epidermes apresenta estrutura típica de plantas C4. Em geral, as folhas diminuem de tamanho e posicionam-se mais eretas no sentido ascendente da planta (DUNCAN, 1975; KIESSELBACH, 1949).

Dos nós situados na região mediana do colmo, desenvolvem-se folhas que podem permanecer no estado rudimentar ou desenvolver inflorescências femininas, as espigas, sendo que as palhas que as recobrem são folhas modificadas. Geralmente forma-se apenas uma espiga no

colmo, mas pode ocorrer a formação de várias espigas, inclusive mais de uma espiga por nó (GOODMAN; SMITH, 1978).

A espiga é formada por uma ráquis, ou sabugo, ao longo do qual estão dispostos alvéolos contendo as espiguetas, sempre aos pares. Cada flor é recoberta por duas glumelas, e as duas flores são recobertas por um par de glumas. A flor é constituída de um ovário contendo apenas um óvulo, de onde se desenvolve um estilo-estigma com a extremidade livre dividida em duas. As glumas são mais curtas que a semente, embora alguns genótipos as apresentem bem desenvolvidas recobrindo a semente - esses genótipos são denominados tunicados. Na extremidade superior da planta encontra-se a inflorescência masculina do tipo panícula, denominada pendão ou flecha, formada por um eixo central com ramificações laterais que também podem ramificar (GOODMAN; SMITH, 1978).

Segundo Vieira Junior (1999), o milho é uma planta de ciclo bastante variado, ocorrendo desde genótipos extremamente precoces, com florescimento aos 30 dias, até genótipos com ciclo vital de 300 dias. Contudo, nas condições brasileiras, os genótipos variam entre 110 e 180 dias de ciclo da semeadura até a maturidade fisiológica da planta, e são classificadas em superprecoces, precoces e normais. De forma geral, seu ciclo vital compreende as seguintes etapas de desenvolvimento: i) germinação e emergência: período compreendido desde a semeadura até o aparecimento da plântula; ii) crescimento vegetativo: período compreendido entre o estabelecimento da plântula e o florescimento; essa fase é comumente empregada para caracterizar o ciclo do genótipo e apresenta considerável amplitude entre os genótipos; iii) florescimento: período compreendido entre o início da polinização e o início da frutificação que raramente ultrapassa 15 dias; iv) frutificação: período compreendido desde a fecundação até o completo enchimento das cariopses, cuja duração varia entre 40 e 60 dias; v) maturidade: período compreendido entre o final da frutificação e o aparecimento da camada negra na ponta das cariopses, a qual indica o final do ciclo vital da planta.

Entretanto, para maior facilidade de manejo e estudo da cultura, bem como objetivando o estabelecimento de correlações entre elementos fisiológicos e climatológicos, Fancelli (1988) propôs a divisão do ciclo vital da planta de milho em 11 estágios distintos de desenvolvimento, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Fenologia do milho

(continua)

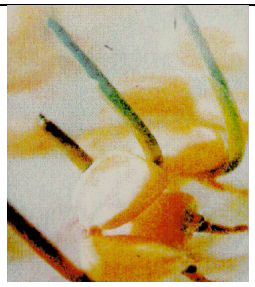
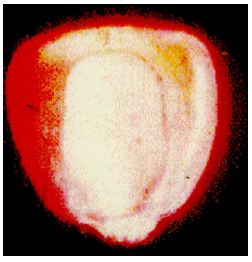
Estádio		Observações
0		Emergência de 50% das plântulas (ocorre entre 3 a 14 dias após a semeadura).
1		Cultura com 50 % das plantas apresentando quatro folhas totalmente desenvolvidas (aproximadamente, coincide com a segunda semana após a emergência).
2		Cultura com 50% das plantas apresentando oito folhas totalmente desenvolvidas (ocorre cerca de 30 dias após a emergência).
3		Cultura com 50% das plantas apresentando 12 folhas totalmente desenvolvidas (ocorre cerca de sete semanas após a emergência).
4		Encerra a fase vegetativo. Cultura com 50% das plantas apresentando emissão do pendão (ocorre cerca de nove semanas após a emergência).

Tabela 1 – Fenologia do milho

(conclusão)

Estádio		Observações
5		Cultura com 50% das plantas liberando pólen (ocorre, aproximadamente, nove semanas após a emergência).
6		Cultura com 50% das plantas apresentando grãos leitosos (ocorre, aproximadamente, 12 a 15 dias após o início da polinização).
7		Cultura com 50% das plantas apresentando grãos pastosos (ocorre, aproximadamente, 20 a 28 dias após a emergência do estilo-estigma).
8		Cultura com 50% das plantas iniciando a formação de “dentes” nos grãos, que é caracterizada pela presença da “linha de leite” (ocorre, aproximadamente, 30 a 40 dias após o início da polinização).
9		Cultura com 50% das plantas apresentando grãos “duros” (ocorre, aproximadamente, 48 a 55 dias após o início da polinização).
10		Cultura com 50% das plantas apresentando grãos fisiologicamente maduros, caracterizados pela presença de “camada negra” (aproximadamente 50 a 65 dias após o início da polinização).

Fonte: Fancelli (1988) e Vieira Junior (1999).

Segundo Fancelli (1988) e Vieira Junior (1999), até o surgimento das espigas, os estádios devem ser identificados pelo número de folhas totalmente expandidas no "cartucho" da planta, ou seja, quando for possível a visualização das bainhas foliares. Após o aparecimento da espiga, os estádios passam a ser identificados em função do desenvolvimento e da consistência dos grãos. Também segundo os autores, a indicação cronológica dos estádios em dias, apresentada na Figura 12, é útil ao planejamento da cultura; contudo, para maior precisão no manejo e estudo da cultura, devem ser consideradas, para definição dos estádios fenológicos da cultura, os somatórios das diferenças diárias entre a temperatura diurna e a temperatura basal da planta, denominados graus-dias (GD, ºC.dia^{-1}).

A compreensão dos estádios fenológicos relacionados às características morfofisiológicas da planta (Figura 12 e Tabela 1) é de extrema importância para decisões de manejo da cultura, iniciando-se com a germinação das sementes, ou estádio 0.

A germinação da semente tem início sob condições favoráveis de umidade e temperaturas entre 10 ºC e 40 º; a duração dessa fase pode variar entre três a 15 dias, equivalendo a cerca de 60 graus-dias. Para Fornasieri (1992), o acréscimo no tempo necessário para a emergência acarreta prejuízos à produtividade final pela maior exposição das sementes ao ataque de pragas e doenças, reduzindo a população final de plantas, bem como pela lixiviação de nutrientes causada por chuvas ocorridas entre a semeadura e a emergência. Assim, o período é de fundamental importância na definição da população e na distribuição espacial das plantas pretendida na semeadura, o que contribuirá significativamente para a produção de fotoassimilados.

A planta está apta a realizar fotossíntese aproximadamente uma semana após a emergência, quando apresenta duas folhas totalmente expandidas. No primeiro nó basal já se identifica um grupo de raízes adventícias não ramificadas e sem pêlos absorventes, os "esporões", diferentemente das raízes seminais, que são ramificadas e com pêlos absorventes (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

O principal evento relacionado ao estádio 1 (Figura 12 e Tabela 1) é a diferenciação do meristema apical, ou seja, a definição dos órgãos reprodutivos e do total de folhas, o que implica a produção potencial da planta, assim justificando a importância da disponibilidade hídrica e do nitrogênio nesse estádio (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; VIEIRA JUNIOR, 1999). Então as estruturas do meristema primário ainda estão localizadas abaixo da superfície do solo, o que justifica a pequena redução na produção ocasionada pelos efeitos das baixas temperaturas -

causadas por geadas ou ocorrência de granizo - ou mesmo ataque de pragas da parte aérea. Por outro lado, o intenso crescimento das raízes nesse estádio é decisivamente influenciado pelo suprimento de carboidratos produzidos na parte aérea; a diminuição dessa disponibilidade, pelas razões já mencionadas, pode vir a ser um impedimento para o bom desenvolvimento do sistema radicular, comprometendo a produção futura da planta. Ademais, a presença de considerável percentagem de pêlos absorventes e ramificações diferenciadas sugere que danos mecânicos por operações de cultivo e/ou matocompetição podem afetar a densidade e a distribuição de raízes, com conseqüente redução na absorção de nutrientes e na produtividade da cultura (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; VIEIRA JUNIOR, 1999).

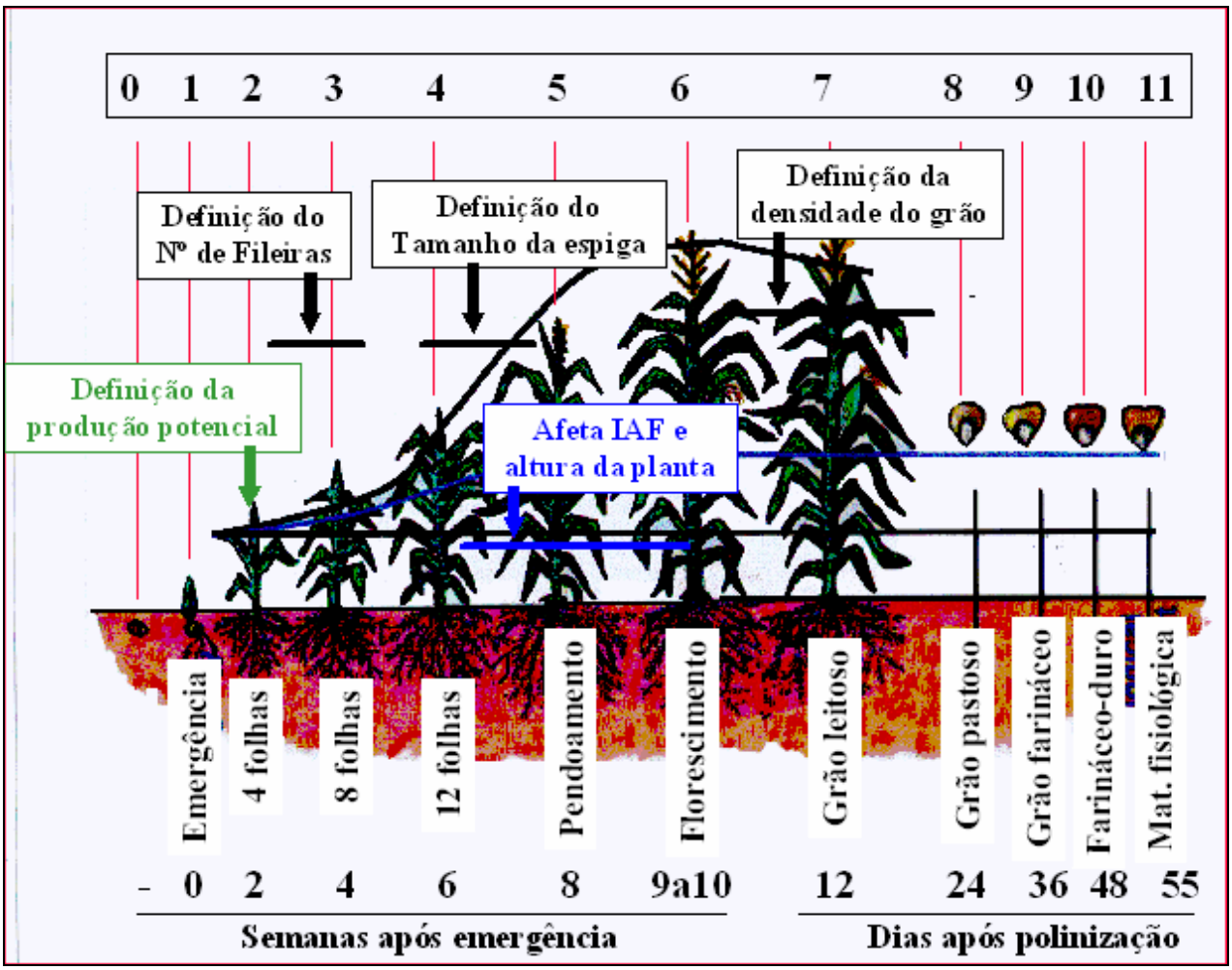


Figura 12 – Estádios de desenvolvimento da cultura de milho (adaptado de FANCELLI, 1988)

O estádio 2 (Figura 12 e Tabela 1), correspondente à planta com oito folhas expandidas, é caracterizado pelo crescimento do colmo em diâmetro e comprimento, o que implica a capacidade de dreno para acúmulo de fotoassimilados, que serão drenados aos frutos por ocasião dos estádios reprodutivos, em especial após o estádio 8, quando a capacidade de fotossíntese da planta é inferior ao dreno representado pelo aparelho reprodutivo da planta.

Assim, no estádio 2, o colmo, além de suportar as folhas e partes florais, atua também como órgão de reserva. Tal acúmulo ocorre após o término do desenvolvimento vegetativo e antes do início do enchimento de grãos, já que, até esse ponto, todo carboidrato foi utilizado na formação de novas folhas (MAGALHÃES; PAIVA, 1993). Experimentos com remoção de folhas demonstram que o colmo diminui em peso, enquanto a espiga prossegue seu enchimento normal, indicando que há translocação de fotoassimilados do colmo para as cariopses. Dessa forma, o estresse hídrico nessa etapa pode afetar o comprimento dos internódios, provavelmente pela inibição da elongação das células em desenvolvimento, reduzindo a capacidade de armazenagem de sintetizados no colmo (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; VIEIRA JUNIOR, 1999). Esse estádio é caracterizado anda pela aceleração do processo de formação da inflorescência masculina e pelo desenvolvimento de novas raízes nodais (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; VIEIRA JUNIOR, 1999).

O estádio 2 antecede a ocorrência de um aumento na taxa de crescimento das espigas, entre o sexto e nono nós acima do solo, podendo-se observar boa resposta à utilização de fertilizantes, notadamente nitrogênio e potássio, e sua absorção, já que ocorre acentuado desenvolvimento do sistema radicular, especialmente naqueles sistemas em que se utilizam arranjos espaciais que permitem a exploração de maior volume de solo por unidade de planta. Sete semanas após a emergência, o pendão atinge o seu desenvolvimento máximo, ao mesmo tempo em que tem início o crescimento dos estilos-estigmas (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; VIEIRA JUNIOR, 1999).

A alta taxa de crescimento que ocorre no colmo, no pendão e na espiga superior marcam o principal evento do estádio 3 (Figura 12 e Tabela 1), ou seja, o crescimento da parte aérea. Com 85% a 90% da área foliar definida ao final do estádio 3, é possível observar a perda das quatro primeiras folhas e o desenvolvimento das raízes adventícias, os “esporões”, a partir do primeiro nó presente ao nível do solo. A definição do rendimento potencial da cultura está associada ao número de grãos definidos por fileira em cada espiga, cujo comprimento máximo está

condicionado à boa disponibilidade hídrica e de nutrientes, notadamente nitrogênio, e à integridade das folhas, função do ataque de pragas e doenças (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; VIEIRA JUNIOR, 1999).

O estádio 4 (Figura 12 e Tabela 1) é caracterizado pelo aparecimento parcial do pendão e pelo crescimento acentuado dos estilos-estigma da espiga, ou seja, com a diferenciação do meristema apical cessa o crescimento da parte aérea, definindo-se a área foliar (FANCELLI, 1988).

Quanto à relação entre o desenvolvimento da parte aérea da planta e a produção, Vieira Junior et al. (2005) citam diversos autores que concluem que a produção depende diretamente da área foliar, destacando que a melhor relação entre o total de área foliar projetada sobre a superfície do solo, expressa pelo índice de área foliar (IAF, $c.cm^{-2}$), para a cultura o milho está entre cinco a sete, salientando que IAF superior a 12 compromete a produção da planta. Os mesmos autores concluem que tão importante quanto o valor do índice de área foliar, função da população de plantas e do seu crescimento, é a sua homogeneidade na cultura, por sua vez função da homogeneidade na distribuição espacial das plantas. Assim, para a exploração do potencial produtivo máximo das plantas, torna-se fundamental a manutenção da integridade foliar localizada acima das espigas, principalmente por meio do controle de pragas e doenças. A redução da relação entre fonte e dreno promovida pela desfolha restringe a quantidade de matéria seca presente nos grãos, ao final do seu período de enchimento (FANCELLI, 1998).

Após atingir soma térmica adequada, expressa em graus-dias (GD, $ºC.dia^{-1}$), ainda no estádio 4 a planta inicia o florescimento, ou seja, na maioria dos genótipos, inicia-se a caracterização do fenômeno da proterandria, pelo qual a emissão da inflorescência masculina antecede a exposição dos estilos-estigmas de dois a quatro dias, fenômeno regulado pela interação entre o genótipo e o ambiente (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; VIEIRA JUNIOR, 1999). Nesse caso, períodos de temperaturas e umidade extremas são desfavoráveis, pois além de reduzir a quantidade de pólen podem ocasionar distúrbios na planta de modo a impedir a coincidência entre liberação de pólen e emissão dos estigmas, uma vez que a antecipação da liberação de pólen em relação à emissão dos estigmas aumenta quando em condições de estresse.

A emissão dos estigmas nas espigas ocorre no sentido da base da espiga para o ápice; ambos podem permanecer receptivos por até 20 dias em condições de alta umidade relativa do ar (<70%) e temperatura ao redor de 20 ºC. Magalhães e Paiva (1993) relatam que os estilos-

estigmas levam de três a quatro dias para emergir e são imediatamente receptivos após a emergência, assim permanecendo até que ocorra a polinização, evento que determina o final do seu crescimento. Portanto, estabelece-se um intervalo de tempo dentro do qual cada estilo-estigma pode ser polinizado antes da interrupção da liberação de pólen pelo pendão. Estresses bióticos, alta densidade de plantas, estresse hídrico - seja o excesso, seja o *deficit* - e temperaturas elevadas podem antecipar a emissão do pendão em relação aos estilos-estigmas da espiga.

O transporte do grão de pólen é anemófilo; a espécie é caracterizada pela fecundação cruzada com cerca de 3% de autofecundação. Assim, chuvas fortes, ausência de ventos e/ou períodos com umidade relativa do ar inferior a 60% prejudicam a polinização. O grão de pólen germina logo após seu contato com o estigma, desencadeando o desenvolvimento do tubo polínico no estigma, com posterior fecundação do óvulo em sua base. O desenvolvimento do tubo polínico é favorecido por condições de alta umidade e/ou baixa temperatura; há relatos de que a deficiência de cálcio afeta negativamente seu desenvolvimento. É relativamente comum o aparecimento de lesões em áreas foliares onde ocorra deposição de grãos de pólen, devido ao favorecimento provocado por substâncias presentes nos grãos de pólen para o desenvolvimento de microorganismos, além da alta concentração de auxina (CARVALHO; NAKAGAWA, 1988; VIEIRA JUNIOR, 1999).

O período de polinização, ou estádio 5, dura em média dez dias, caracterizando-se pela interrupção das elongações do colmo e internódios e pela redução no desenvolvimento do sistema radicular, momento em que se define o máximo acúmulo de matéria seca pela planta, estabelecendo sua máxima capacidade fotossintética. Após essa fase, a planta apresenta *deficit* entre a produção de fotoassimilados e o requerimento pelos drenos, notadamente os órgãos reprodutivos, o que implica a realocação e transporte de carboidratos pelo floema, metabolismo bastante influenciado pelas condições de temperatura e disponibilidade hídrica para a planta, além de aspectos relacionados à sua nutrição (VIEIRA JUNIOR, 1999).

A liberação do pólen começa ao nascer do sol e reduz no meio do dia, pois a alta temperatura, a baixa umidade relativa e o encharcamento do solo reduzem a sua liberação devido à perda de turgescência da lodícula. Normalmente, o fornecimento de pólen pelas plantas só vem a ser um problema em campos de produção de sementes, já que em campos de produção comercial existe excesso de pólen, que inclusive competem por energia com os grãos da espiga (CARVALHO; NAKAGAWA, 1988; GOODMAN; SMITH, 1978).

O número de grãos por espiga é definido no estádio 5 em função do número de ovários fecundados; o número máximo de fileiras de grãos e grãos por fileira é fixado anteriormente, nos estádios fenológicos 3 ao 5 (FANCELLI, 1988). A elevada umidade relativa do ar, acima de 60%, amplitudes térmicas em torno de 18 ºC a 20 ºC e disponibilidade de água e nutrientes são fatores positivamente correlacionados à produção final, em razão de o estádio 5 estar associado à intensa atividade fotossintética necessária para suprir a formação das estruturas reprodutivas femininas: pedúnculo, sabugo, palha e cariopses em formação (FORNASIERI, 1992).

O estádio 6, aproximadamente 14 dias após o início da polinização, caracteriza-se pelo acúmulo de amido no endosperma dos grãos, dado, principalmente, pela translocação de carboidratos acumulados nas folhas e no colmo para a espiga, uma vez que a capacidade de dreno dos frutos supera em muito a capacidade de produção de fotoassimilados pela planta. O processo de translocação depende da disponibilidade hídrica e da nutrição da planta, notadamente de fósforo, que afeta a energia necessária ao descarregamento do floema, e de potássio, principal componente osmótico do floema (VIEIRA JUNIOR, 1999, TAIZ; ZEIGER, 2004).

Quanto à produção de fotoassimilados no estádio 6, é importante a integridade foliar do terço superior da planta, cujas produtividades finais estão condicionados à efetividade fotossintética durante o referido período. Dessa forma, o impedimento ou redução da fotossíntese, decorrentes de fatores bióticos e abióticos, nessa fase implicam a redução significativa da taxa de acúmulo de matéria seca do grão, além de favorecer a incidência de doenças de colmo (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; VIEIRA JUNIOR, 1999).

Finaliza-se no estádio 7 a diferenciação das estruturas embriônicas no interior das cariopses, nas quais transcorre alta taxa de acumulação de amido, caracterizando-se um período exclusivamente destinado ao aumento de massa nas cariopses, cujos tamanhos e densidades finais estão condicionados à ausência de estresse hídrico e temperaturas ao redor de 25ºC (CARVALHO; NAKAGAWA, 1988; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

No estádio 8, o grão torna-se cada vez mais endurecido, mudando do estado pastoso para o farináceo; em genótipos portadores de grãos dentados e semiduros, é visível a concavidade em sua parte superior, diferentemente daqueles genótipos de grãos duros. A referência para identificação desse estádio está na presença da chamada “linha de leite” nos grãos (CARVALHO; NAKAGAWA, 1988).

Aproximadamente 48 a 55 dias após a emissão dos estilos-estigmas, constata-se acelerada perda de umidade em toda a planta e significativa redução na taxa de acumulação de sintetizados nos grãos, os quais encontram-se na iminência da maturidade fisiológica, ou estádio 9 (CARVALHO; NAKAGAWA, 1988; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Por volta da oitava ou nona semana após a polinização observa-se o término do acúmulo de carboidrato nas cariopses, os quais alcançam massa de matéria seca máxima, encontrando-se em estado de maturidade fisiológica, ou seja, o estádio 10, apresentado na Figura 12 e Tabela 1. Nesse período é definida a produtividade máxima das plantas, em função das condições ambientais transcorridas em cada estádio fenológico descrito. Simultaneamente, observa-se a senescência natural das folhas na planta (CARVALHO; NAKAGAWA, 1988; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

A maturidade fisiológica da planta é observada pela presença da "camada negra", no ponto de inserção das cariopses com o sabugo, representando o rompimento da ligação entre a planta e o fruto, o que caracteriza o momento ideal para a colheita, em função da máxima produção concentrada. Porém, o elevado teor de água das cariopses nesse momento - cerca de 35% - constitui um impedimento natural às operações mecânicas inerentes a um processo de colheita eficiente, o que se torna possível quando o teor de água nas cariopses encontra-se entre 18% a 25%, efetuando-se a secagem artificial até 13% para seu armazenamento (CARVALHO; NAKAGAWA, 1988; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

A maior parte da cariopse é constituída pelo endosperma, resultado da fusão de um núcleo reprodutivo do gameta masculino com dois núcleos femininos — um tecido triplóide, portanto. Basicamente o endosperma é constituído por amido, amilose e amilopectina, cujas relações determinam os tipos de milho normal ou ceroso. Em alguns genótipos, como o milho doce, não ocorre a conversão de açúcares em amido, sendo o endosperma constituído de açúcares. Outro tipo de endosperma importante é o chamado opaco e seus derivados QPM (*Quality Protein Maize*), os quais apresentam maiores teores de lisina e triptofano. O embrião armazena principalmente lipídios na região do escutelo, o teor de substâncias de reserva por ele armazenado é insignificante (GOODMAN; SMITH, 1978; MAGALHÃES; PAIVA, 1993; VIEIRA JUNIOR, 1999).

2.2.2 Ecofisiologia

Situações de *deficit* hídrico, como as que ocorrem em condições tropicais, quando a evapotranspiração excede a absorção de água pela planta mesmo não havendo deficiência de água no solo, prejudicam a absorção de carbono na forma de CO_2 pelos estômatos. Tal fato levou algumas plantas, denominadas C4, a desenvolverem uma rota diferente para fixação primária de CO_2 através da enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP Carboxilase), com maior afinidade ao CO_2 do que em relação à enzima Rubisco, responsável pela fixação de CO_2 em plantas C3 (LARCHER, 1986).

Nas plantas C4, após a ligação do CO_2 atmosférico à PEP Carboxilase nas células do mesófilo, o CO_2 é convertido em ácidos com quatro carbonos, malato e/ou aspartato, transportado até as células da bainha do feixe vascular, onde ocorre sua descarboxilação produzindo CO_2, por sua vez reduzido a carboidrato pelo Ciclo da Calvin, resultando na produção de fotoassimilados (LARCHER, 1986; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Outra razão a que se atribui a maior eficiência das plantas C4 é sua reduzida fotorrespiração se comparadas às plantas C3, o que é compreensível pelo baixo teor de O_2 nas células da bainha do feixe vascular onde ocorre o Ciclo de Calvin. A fotorrespiração consiste na oxigenação da enzima Rubisco; sua função biológica ainda é desconhecida, pois, embora esse processo recupere cerca de 75% do carbono perdido no Ciclo de Calvin, o que é importante em condições de estresse hídrico e/ou lumínico, trata-se de uma competição com a fotossíntese, o que acaba destinando menos carbono aos produtos finais (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A partir das considerações sobre o metabolismo da fixação de carbono, o importante a ser destacado sobre as plantas C4, das quais o milho é um representante típico, é que essas espécies não apresentam saturação da produção fotossintética à radiação solar, além de serem mais eficientes na utilização de água e nutrientes, fatos que implicam a otimização da oferta ambiental para a obtenção da máxima produção da planta (HORTON, 2000; LARCHER, 1986).

Quanto à água, nos estádios vegetativos iniciais da planta de milho em clima ameno o consumo de água não excede 2,5 $cm.dia^{-1}$, podendo atingir 6,5 a 7,5 $cm.dia^{-1}$ durante a floração e frutificação. Entretanto, em condições de alta temperatura e baixa umidade relativa do ar o consumo máximo pode atingir 10 $cm.dia^{-1}$. A despeito do fato de que as maiores exigências de água se concentram nas fases de emergência, florescimento e formação do grão, o período compreendido entre 15 dias antes e 15 dias após a emissão do pendão é fundamental para o

rendimento de grãos; o requerimento de suprimento hídrico satisfatório aliado a temperaturas adequadas torna crítico esse período (VIEIRA JUNIOR, 1999).

É possível inferir que a planta de milho é bastante eficiente na transformação de energia luminosa e de CO_2 atmosférico por meio da fotossíntese. Estima-se que 90% da matéria seca provenham da fixação de CO_2; portanto, a deficiência de luz e a escassez de água em períodos críticos são as maiores causas de redução na produção de fotoassimilados (MAGALHÃES; PAIVA, 1993; TANAKA; YAMAGUCHI, 1977).

A produção de fotoassimilados não é função direta da área foliar, mas da fotossíntese líqüida, que diminui com a idade em razão do auto-sombreamento das folhas. Estudos demonstram que a taxa de fotossíntese por unidade de área da folha é mais alto em folhas que completaram recentemente sua expansão com relação às folhas mais novas e mais velhas. Também a taxa de fotossíntese por unidade de área foliar aumenta com relação à posição superior desta na planta. Alguns autores consideram ainda o sombreamento causado pelos pendões (MAGALHÃES; PAIVA 1993; TANAKA; YAMAGUCHI, 1977).

Portanto, ainda que seja extremamente eficiente, é necessário prolongar ao máximo a atividade fotossintética da planta de milho. Para tanto, faz-se imperativo considerar aspectos da arquitetura foliar em função do local de produção, notadamente a relação entre o ângulo de inserção das folhas no colmo e a declinação solar local, bem como da população e distribuição espacial das plantas (VIEIRA JUNIOR et al., 2005). Fatores como sanidade, estado nutricional e competição, entre outros, também afetam a produção e a partição de fotoassimilados.

Outro processo que interfere sobre a fotossíntese líqüida é a respiração, função direta da temperatura do ambiente. De acordo com Andrade (1992), Shaw (1977) e Vieira Junior (1999), as maiores produções de milho ocorrem nos locais em que as temperaturas nos meses mais quentes oscilam entre 21 °C a 27 °C. Aparentemente, segundo os autores, não existe um limite máximo de temperatura para a produção de milho; no entanto, a produtividade tende a diminuir com o aumento da temperatura em função do aumento da respiração. A temperatura mínima para crescimento satisfatório do milho é de 10°C, a ótima varia de 28°C a 35°C e a máxima é de, aproximadamente, 42°C, sendo as maiores taxas de crescimento alcançadas entre 29°C e 32°C. A partição de fotoassimilados na planta de milho (Figura 13) obedece a padrões bem definidos e, em termos relativos, sofre pequena influência da oferta ambiental, o que facilita a estimativa de

desenvolvimento relativo da planta em função dos graus-dias (DOURADO NETO, 1999; TANAKA; YAMAGUCHI, 1977).

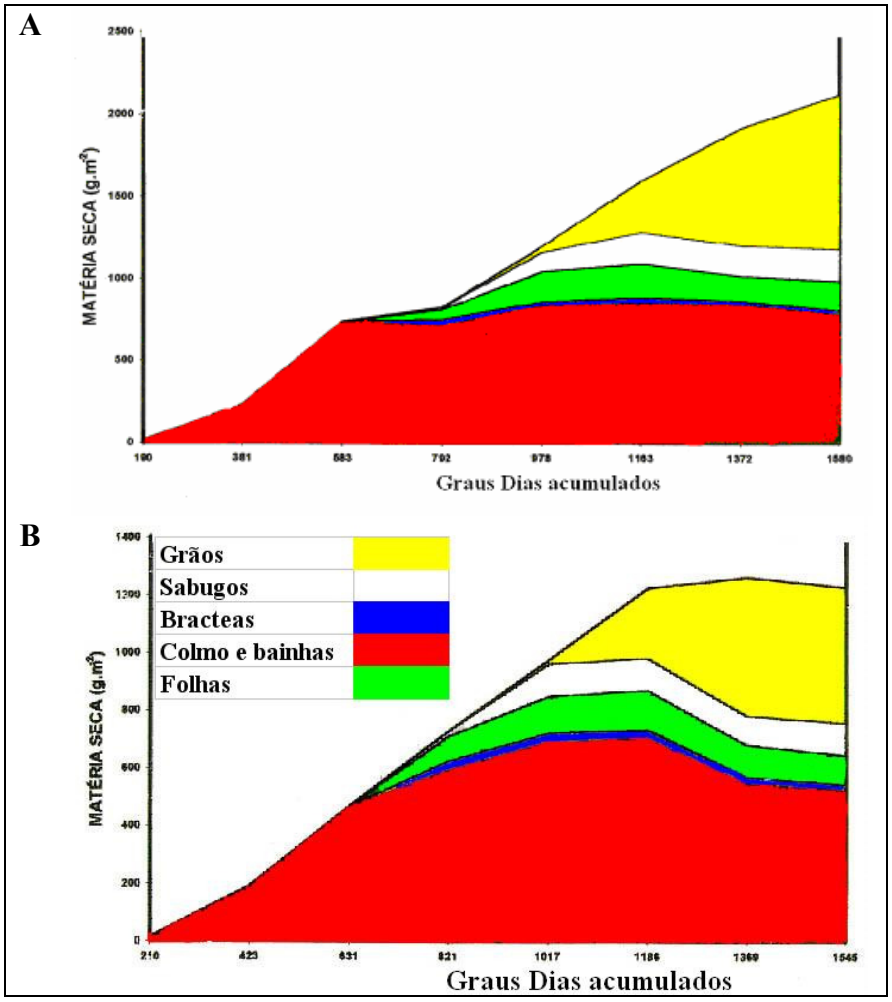


Figura 13 – Acúmulo médio de matéria seca em partes da planta de milho semeado no verão (A) e no inverno (B)segundo Dourado Neto (1999)

No caso de sua alocação, até o estádio 2 os fotoassimilados são principalmente carreados para o sistema radicular; no período compreendido entre os estádios 3 e 5, para parte aérea; após e estádio 6, o principal dreno é o órgão reprodutivo. Quanto à parte aérea, é importante destacar que desenvolvimento de uma folha caracteriza-se de início pela importação de fotoassimilados até praticamente seu completo desenvolvimento, e só então tem início o processo de exportação para novas folhas e colmo, e, a partir daí, em estádios fenológicos mais avançados, para o órgão reprodutivo (DOURADO NETO, 1999; TANAKA; YAMAGUCHI, 1977).

Quanto ao ciclo, a planta de milho é originalmente de dias curtos; portanto, a ocorrência de dias longos pode aumentar sua fase vegetativa e número de folhas. Contudo, trabalhos recentes demonstram que a resposta ao fotoperíodo só ocorre em latitudes superiores a 33º (VIEIRA JUNIOR, 1999). O fato fica bem evidenciado nos trabalhos citados por Nickell (1983), em que, com auxílio de refletores, foram cultivadas plantas em ambientes simulando dias curtos e longos até o início do florescimento. Posteriormente, as plantas foram transferidas para condições ambientes de fotoperíodo; as plantas cultivadas em períodos longos de iluminação eram maiores, apresentavam muitas folhas, maior índice de área foliar e maior rendimento de grãos do que as desenvolvidas sob períodos curtos de iluminação.

BERLATO; SUTILI (1976) destacam que o período correspondente aos estádios reprodutivos apresenta pequena variação segundo a oferta ambiental, assim, os genótipos são classificados quanto ao ciclo segundo o somatório diário das diferenças entre a temperatura média do ambiente e a temperatura basal da planta, em graus-dias. É importante considerar que a planta não apresenta resposta a temperaturas inferiores à temperatura basal, considerada para os germoplasmas brasileiros como 10ºC e acima de 30ºC, respectivamente o limite inferior e superior, na determinação dos graus-dias (DOURADO NETO, 1999; MAGALHÃES; PAIVA, 1993; TANAKA; YAMAGUCHI, 1977).

Considerando o exposto sobre o ciclo da planta de milho, os genótipos brasileiros de milho são classificados, quanto ao ciclo, em normais, aqueles que requerem acima de 890 GD, precoces, entre 830 a 890 GD, e superprecoces aqueles que requerem menos que 830 GD. Essas exigências calóricas se referem ao cumprimento das fases fenológicas compreendidas entre a emergência e o início da polinização (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; VIEIRA JUNIOR, 1999).

Apesar da elevada produção fotossintética, o milho apresenta acentuada sensibilidade a estresses bióticos e abióticos; conseqüentemente, seu cultivo exige rigoroso planejamento e manejo, com o intuito de maximizar a capacidade produtiva. Portanto, o rendimento de uma cultura de milho depende diretamente da relação intrínseca estabelecida entre a planta e o ambiente em que se encontra, com ênfase na temperatura, nos ventos, na radiação e na disponibilidade hídrica, o que determina a adaptação de diferentes genótipos para diferentes ambientes em função do manejo adotado na cultura.

2.2.3 Condições para altos rendimentos

O rendimento de grãos da cultura, ou o índice de colheita (IC), pode ser definido como o produto do número de grãos por planta, a população de plantas por área e a massa de cada grão, no caso de rendimento de grãos, ou o produto acima dividido pelo total de matéria seca produzida, no caso do IC (DONALD; HAMBLIN, 1976). Em regiões de clima temperado e altitude elevada o IC máximo para a cultura do milho gira em torno de 0,6; os menores IC, ao redor de 0,1, são obtidos em regiões tropicais da África. Essas diferenças se devem ao fato de que genótipos tropicais sobrevivem em ambientes onde o fator biótico é exacerbado; a presença de insetos, por exemplo, condiciona a partição, carreando mais fotoassimilados para produção de órgãos vegetativos (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1988).

A capacidade dos grãos (dreno) de alocar e utilizar os fotoassimilados produzidos (fonte) e as inter-relações entre esses fatores determinam o potencial de rendimento de grãos na cultura de milho (MAGALHÃES; JONES, 1990a, 1990b). Alguns autores confirmam que o rendimento de grãos é limitado, principalmente, pela capacidade de suprimento de assimilados pela fonte (TOLLENAAR; DAYNARD, 1977; SCHOPER, JOHNSON; LAMBERT, 1982), enquanto outros consideram como a causa limitante a capacidade dos grãos em armazenar os fotoassimilados disponíveis (MAGALHÃES; JONES, 1990a, 1990b). Segundo estes últimos autores citados, a limitação dos grãos de acumular fitomassa está relacionada ao esgotamento da capacidade potencial dos grãos de acumular massa; esse potencial seria definido, portanto, pelos atributos genéticos da planta. Assim, considerando que o número de grãos e sua massa estão relacionados ao rendimento de grãos de milho (CIRILO; ANDRADE, 1994b), é possível inferir que condições desfavoráveis de ambiente durante o desenvolvimento dos grãos podem reduzir a capacidade dos drenos de mobilizar fotoassimilados.

O desenvolvimento dos grãos, que genericamente situa-se entre a fertilização e a maturidade fisiológica, é linear (JOHNSON; TANNER,1972; TOLLENAAR, 1977); assim, deve ser levada em consideração a partição de fotoassimilados entre as estruturas vegetativas e reprodutivas, afetada pela quantidade da radiação interceptada, pela temperatura, pelas condições hídricas e pelo tempo em que os grãos permanecem acumulando massa de matéria seca (TOLLENAAR, 1977; ALUKO; FISCHER, 1988; GRANT, 1989; CIRILO; ANDRADE, 1994a). Temperaturas amenas após a polinização aumentam o período efetivo de crescimento dos grãos, reduzindo seu peso específico final (JONES; ROESSLER; OUATTAR, 1985; OUATTAR; JONES;

CROOKSTON, 1987). Portanto, o menor rendimento de grãos em semeaduras tardias é decorrente tanto da limitação da fotossíntese quanto do acúmulo de massa de matéria seca nos grãos.

Populações e distribuições espaciais das plantas aquém ou além do ótimo têm efeito negativo na eficiência com que a cultura converte a radiação interceptada em massa de grãos (ANDRADE et al., 1993b). Ensaios de sombreamento artificial durante o desenvolvimento dos grãos e condições que limitam a radiação e o suprimento de assimilados demonstram não haver efeito na taxa de desenvolvimento dos grãos, mas, provocam redução no tempo de desenvolvimento, e, conseqüentemente, comprometem suas densidades (TOLLENAAR, 1977; SETTER; FLANNIGAN, 1986). O efeito do sombreamento artificial simula a limitação no rendimento de grãos pela fonte produtora de fotoassimilados, caso típico de semeaduras com população de plantas acima do ótimo, principalmente em semeaduras tardios.

Considerando que a redução no rendimento de grãos do milho está fortemente relacionada ao período de enchimento de grãos e que qualquer condição desfavorável afeta significativamente o peso especifico de grãos e, conseqüentemente seu rendimento, é preciso ter em mente um criterioso planejamento da cultura para que esse período ocorra em condições favoráveis de radiação, temperatura e disponibilidade hídrica.

A planta de milho se caracteriza pelo acúmulo de reservas, posteriormente carreadas para os grãos. Fatores que concorram para a redução nos estádios vegetativos e reprodutivos e/ou, principalmente, a alteração da relação entre os períodos vegetativo e reprodutivo, provocam redução na massa dos grãos, pela redução de fotoassimilados. Ambientes com temperaturas diurnas acima de 35ºC e noturnas acima de 24ºC são inadequados, pois, além de reduzir o ciclo da planta, aumentam o consumo de energia para respiração. A taxa de acúmulo de fotoassimilados nos grãos pode variar em função do dreno - genótipos com endosperma dentado apresentam maior taxa. Estudos realizados em Indiana (EUA) mostram que o período da emergência até a maturidade fisiológica tem aumentado nos últimos 30 anos, com reflexos no alongamento do período reprodutivo, fato que pode ter relações com o melhoramento genético sofrido para aumento no rendimento de grãos (NICKELL, 1983).

O número de grãos por planta é influenciado por fatores genéticos e ambientais, notadamente durante os estádios fenológicos 3 a 5. A fertilização do óvulo não garante o desenvolvimento da semente, pois vários fatores posteriores à fertilização - como *deficit* hídrico,

deficiência nutricional e sombreamento, entre outros — podem afetar seu desenvolvimento. O sombreamento de 90% durante três dias após a fertilização reduz o rendimento de grãos em até 70% (FANCELLI, 1988; NICKELL, 1983; MAGALHÃES; PAIVA, 1993).

Tanto o tamanho da espiga quanto o número de espigas por planta afetam o número de grãos por planta. Os mecanismos que regulam o número de grãos por espiga e o número de espigas por planta tem sido objeto de constante estudo; todavia, ainda não são muito bem conhecidos. Plantas prolíficas, quando removida a primeira espiga, não desenvolvem as espigas inferiores de modo a manter o rendimento de grãos. Já em híbridos não prolíficos determinou-se que o número de grãos por espiga é o fator principal para o rendimento de grãos por planta (FANCELLI, 1988; NICKELL, 1983; MAGALHÃES; PAIVA, 1993). Tanto o número de grãos por unidade de área quanto o peso específico dos grãos aumentam diretamente com relação ao incremento do índice de área foliar (IAF), atingindo um máximo com IAF entre cinco a sete e ficando comprometido com IAF maior que 12 (FANCELLI, 1988; NICKELL, 1983; MAGALHÃES; PAIVA, 1993).

Em resumo, o rendimento da cultura dependerá da população empregada, que será função da capacidade de suporte do meio e do sistema de produção, do índice e duração da área foliar fotossinteticamente ativa, do número e densidade de grãos por espiga, do número de espigas por planta, da época de semeadura visando atender as necessidades ecofisiológicas de desenvolvimento e crescimento, além da adequada distribuição espacial das plantas em conformidade com suas características genotípicas.

O vento, associado à ocorrência de altas temperaturas, pode interferir diretamente nos processos de crescimento, desenvolvimento vegetativo e na translocação de fotoassimilados, principalmente na presença de impedimento químico ou mecânico do sistema radicular das plantas, aumentando sua suscetibilidade aos períodos de estiagem (VIEIRA JUNIOR, 1999).

As condições térmicas atuam nos mais diversos processos vitais das plantas de milho. Enquanto a germinação e emergência são afetadas, principalmente, pela temperatura do solo, o desenvolvimento fenológico e o crescimento da planta, como um todo, são afetados pelas temperaturas do solo e do ar (CELLIER, 1993). O autor considera que, até a cultura atingir índice de área foliar três, a temperatura que atua sobre a planta é dependente da temperatura do solo; após esse estádio, a temperatura da planta é dependente da temperatura no interior do dossel, função direta da temperatura do ar.

Desta forma, diversos trabalhos citados por Bergonci e Bergamaschi (2004) estabelecem temperaturas referenciais ótimas para diferentes fases críticas do desenvolvimento fenológico e na fisiologia do milho, de maneira que: i) temperaturas do solo inferiores a 10°C e superiores a 40°C comprometem os processos normais de germinação, enquanto que temperaturas situadas entre 25°C e 30°C garantem as melhores condições para a germinação das sementes e a emergência das plântulas; ii) por ocasião do período de florescimento e maturação, temperaturas médias diárias superiores a 26°C podem acelerar essas etapas, ao passo que temperaturas inferiores a 15°C podem retardá-las; iii) a produtividade do milho pode ser reduzida e podem ocorrer alterações na composição protéica dos grãos quando a temperatura ambiente ultrapassar os 35°C; iv) temperaturas noturnas acima de 24°C, por um período acima de três horas, propiciam alto consumo energético durante o processo de respiração pelas plantas, elevando o consumo de fotoassimilados e reduzindo a produtividade da cultura. De resto, o potencial germinativo dos grãos de pólen é bastante reduzido sob temperaturas acima de 32°C.

Para Villa Nova et al. (1972), a diferença entre a temperatura média diária e a temperatura mínima ou temperatura-base exigida por uma espécie é definida como graus-dias. O uso da soma de graus-dias, baseada no acúmulo energético acima de determinada temperatura-base, é de uso abrangente em modelos que descrevem o desenvolvimento fenológico e o crescimento do milho. Considera-se, em geral, 10°C como a temperatura basal para a referida espécie, abaixo da qual não ocorre acúmulo de matéria seca. Assim, dentro de um mesmo grupo de maturação, é possível estimar a ocorrência de fases da cultura, para diferentes genótipos, regiões e épocas de cultivo, valendo-se da temperatura do ar como única variável. A interação com outros fatores, como a disponibilidade de água e de nitrogênio e fotoperíodo, pode provocar erro; porém, a soma calórica, representada pelos graus-dias, tem apresentado boa correlação com os estádios fenológicos da cultura de milho (BERGONCI & BERGAMASCHI, 2002).

A despeito da recomendação de 10ºC para a temperatura basal, é preciso levar em conta que esse parâmetro fisiológico apresenta variações segundo o genótipo, pois, para Kiniry (1991), os limites inferior e superior para o desenvolvimento e crescimento da planta de milho estão entre 8ºC e 44ºC, respectivamente, sendo que o desenvolvimento máximo ocorre entre 26ºC e 34ºC. Já BERLATO; SUTILI (1976) obtiveram boas estimativas utilizando temperaturas basais de 4ºC em híbridos precoces, 6ºC para os de ciclo médio e 8ºC para tardios. Entretanto, a Embrapa Milho e Sorgo (2005b) recomenda 10ºC para os genótipos de milho precoces disponíveis no Brasil.

Considerando o exposto, a Embrapa Milho e Sorgo (2005b) e Fancelli e Dourado Neto (2000), regiões cuja temperatura média diária é inferior a 19°C e as temperaturas noturnas médias estão abaixo de 13°C não são recomendadas para a cultura de milho, podendo-se adotar a temperatura basal de 10ºC para estimativa do desenvolvimento da planta.

Cerca de 90% da matéria seca acumulada pela planta de milho são provenientes da fixação atmosférica de CO_2 pelo processo da fotossíntese (MAGALHÃES; PAIVA, 1993); portanto, são relevantes as condições de radiação e transpiração a que planta está submetida.

A alta produtividade de grãos observada na cultura de milho decorre de seu mecanismo fotossintético; assim, o milho praticamente não apresenta saturação por radiação solar, cuja resposta fisiológica é crescente. Porém, ressalta-se que, apesar da eficiência fotossintética, existem duas características intrínsecas às plantas de milho para a diminuição potencial da interceptação de luz pelas folhas. A maior limitação decorre da natureza alternada e oposta das folhas ao longo do perfil da planta, pelo que ocorre o auto-sombreamento das folhas inferiores. Outra característica é a presença do pendão, que, inativo logo após a fertilização, pode proporcionar o sombreamento das plantas em até 19%, dependendo do genótipo. Dessa forma, maiores produtividades poderão ser alcançadas em função da eficiência na interceptação da radiação incidente, resultante da distribuição espacial das plantas, função do espaçamento e número de plantas por área, do ângulo de inserção das folhas em relação colmo, da resistência das folhas localizadas acima da espiga ao dobramento, nos 15 a 20 dias após o florescimento, e da extensão e homogeneidade espacial da área foliar presente (VIEIRA JUNIOR, 2004a).

Para o milho, as maiores exigências de água se concentram na fase de emergência, florescimento e formação do grão (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). De acordo com Bergonci e Bergamaschi (2002), o maior consumo de água pela cultura de milho é verificado por ocasião do florescimento, uma vez que, nessa fase, o índice de área foliar das plantas é máximo. Assim, a sensibilidade dos processos fisiológicos ligados à formação do zigoto e início do enchimento de grãos e a elevada transpiração que ocorre no mesmo período justificam que o período compreendido entre a emissão da inflorescência masculina e o início da formação dos grãos seja tido como extremamente crítico no que tange ao suprimento de água. A necessidade hídrica aí é ainda mais elevada, pois é necessário haver máxima fotossíntese através da coincidência entre a máxima disponibilidade de radiação solar e a ocorrência de temperaturas entre 25ºC e 30ºC, para a obtenção de maiores produtividades. A formação e o desenvolvimento

interno das flores masculinas e da espiga, bem como a maturação dos grãos de pólen e dos óvulos, requerem pronta disponibilidade de nutrientes na forma assimilável no solo, cuja viabilidade está condicionada à ausência de restrições hídricas. Fancelli e Dourado Neto (2000) relatam que a ocorrência de *deficit* hídrico de uma semana, durante o florescimento masculino, pode implicar queda de produção em torno de 50%, enquanto que após a polinização, sob as mesmas condições, as perdas podem chegar a 25%.

Para Magalhães e Paiva (1993), a importância da água está relacionada também à fotossíntese, uma vez que o efeito do *deficit* hídrico afetará o crescimento das plantas e o processo de trocas gasosas, implicando menor disponibilidade de CO_2 para a realização de fotossíntese. Nesse sentido, Vieira Junior et al. (2204b) destacam a capacidade da planta submetida a *deficit* hídrico de "enrolar" suas folhas como medida de defesa contra a radiação e a transpiração, possibilitando temperaturas até 2ºC no interior das folhas enroladas em relação ao ambiente.

Ressalta-se, ainda, que a quantidade de água disponível para a cultura, em todas as fases de seu desenvolvimento, está diretamente condicionada à ausência de impedimentos mecânicos e químicos ao desenvolvimento do sistema radicular, da densidade radicular das plantas e do arranjo espacial de plantas utilizado, pelo qual define-se o volume de solo explorado pela planta.

Considerando a descrição dos aspectos fisiológicos e fenológicos da planta de milho, ANDRADE; UHART; ARGUISSAIN. (1991) estabeleceram relações diretamente proporcionais entre elementos bióticos e abióticos, as quais orientam a tomada de decisões sobre a escolha de características específicas de ambientes e genótipos, os quais, com manejo adequado, podem expressar sua máxima produtividade de grãos, que por sua vez depende dos seguintes fatores: i) a época de semeadura e a localização geográfica da cultura determinam a quantidade de luz que incidirá sobre a cultura; ii) a eficiência de interceptação da luz depende da idade da planta, da arquitetura foliar, do arranjo espacial de plantas e da população empregada; iii) a temperatura à qual as plantas são expostas, a disponibilidade de água e seu estado nutricional determinam a eficiência de conversão da luz incidente; e iv) o genótipo responde pela partição dos fotoassimilados.

Num determinado ambiente, a matéria seca total das plantas de milho - produtividade biológica - será proporcional à fotossíntese líqüida, resultante dos efeitos combinados entre fotossíntese total e respiração durante a fase de crescimento. A fotossíntese líqüida, por sua vez, será proporcional à eficiência da interceptação da radiação pelas plantas, diretamente

influenciadas pelas condições ambientais a que estiverem sujeitas, pela população e o arranjo espacial utilizado, pelo número e angulação das folhas em relação ao colmo, bem como pela extensão da área foliar e sua permanência em plena atividade. Assim, a expressão do máximo potencial produtivo depende de fatores, como: i) população empregada, função da capacidade suporte do meio e do sistema de produção adotado; ii) tamanho e da duração da área foliar fotossinteticamente ativa; iii) época de semeadura; e iv) adequada distribuição espacial de plantas na área, em conformidade com suas características genotípicas.

A planta de milho desenvolve-se bem em solos de textura argilosa até arenosa, desde que apresentem estrutura granular fina e bem desenvolvida, sejam soltos ou friáveis e com boa permeabilidade à água e ao ar, pois, apesar de consumir relativamente pouca água por matéria produzida, a planta não suporta períodos de estiagem e encharcamento, mesmo que temporários (KÜPPER, 1966).

Quanto às necessidades nutricionais, estas variam em razão do rendimento (Tabela 2), que é função da interação entre o ambiente e o genótipo. Dentre os micronutrientes, é importante observar que a elevada extração de cloro no alto rendimento de grãos é função de ser este o principal ânion da adubação potássica, não devendo ser tomado como exigência da cultura. Dentre os macronutrientes, o nitrogênio é sem dúvida o mais importante, tanto em termos de extração como de exportação, sendo o elemento que apresenta maiores respostas quanto à produção de fotoassimilados. Sua absorção se dá sob forma nítrica, para ser reduzido na planta à amônia pela ação das enzimas reductase de nitrato e de nitrito; a atividade destas enzimas é altamente dependente de molibdênio. Recentemente descobriu-se que o níquel age como cofator da enzima urease (BÜLL, 1993; MAGALHÃES; PAIVA, 1993).

A proporção de nutrientes exportados em relação aos extraídos apresenta grande variação com relação aos genótipos e a parte, ou partes, da planta a serem exploradas. Como regra geral, os totais de nutrientes exportados obedecem à seguinte ordem: N > K > P > S = Mg > Cl > Ca > Zn > Fe > Mn > B > Cu > Mo; enquanto a ordem dos totais extraídos é: N > K > Cl > Mg > Ca = P > S > Fe > Zn = Mn > B > Cu > Mo (BÜLL, 1993; MAGALHÃES; PAIVA, 1993).

Foram notadas diferenças entre genótipos quanto à extração, uso e acumulação de nutrientes, em especial fósforo. Diferenças na cinética de absorção, na utilização, na morfologia radicular e na atividade de fosfatases são citadas para explicar as diferenças de eficiência encontradas para o fósforo (ALVES et al., 1988). Também existe efeito positivo de nitrogênio

sobre fósforo, aumentando a absorção fosfórica principalmente quando nitrogênio é aplicado na forma amoniacal, além das interações positivas entre nitrogênio com potássio e nitrogênio com enxofre, as quais parecem estar mais relacionadas à Lei do Mínimo do que a qualquer efeito de sinergismo. Já o aumento na dose de fósforo inibe a absorção de zinco, com reflexos negativos sobre o rendimento de grãos (BÜLL, 1993). Assim, considerando as interações significativas entre genótipo e ambiente quanto à extração e à exportação de nutrientes pela cultura do milho, além da questão da parte da planta explorada comercialmente, é possível inferir ser este um fator de produção complexo quando vinculado à estimativa da produção da planta de milho.

Tabela 2 – Conteúdo de nutrientes na parte aérea de culturas de milho de baixo, médio e alto rendimento de grãos

Nutriente	**Rendimento ($t.ha^{-1}$ de grãos)**		
	2,11	**5,92**	**9,13**
		($kg.ha^{-1}$ de nutriente)	
Nitrogênio (N)	53	163	190
Fósforo (P)	8	28	39
Potássio (K)	48	96	196
Cálcio (Ca)	9	20	40
Magnésio (Mg)	10	38	44
Enxofre (S)	5	16	21
		($g.ha^{-1}$ de nutriente)	
Cloro (Cl)	19	-	81
Ferro (Fe)	487	1.226	2.110
Manganês (Mn)	78	465	340
Cobre (Cu)	25	122	110
Zinco (Zn)	92	329	400
Boro (B)	39	-	170
Molibdênio (Mo)	2	-	9

Fonte: Büll (1993).

2.3 Modelos de Cultura

Trata-se do modelo que pode ser definido como a representação matemática de um sistema ou um processo, enquanto que modelagem é o processo de desenvolvimento dessa representação. A simulação inclui os processos necessários para a operacionalização ou a solução do modelo, visando simular o que acontece no sistema. De acordo com Caixeta Filho (2001), modelos são representações idealizadas para situações do mundo real; assim, apesar da dificuldade para a validação de modelos, sempre haverá a indicação do nível de sucesso do processo da modelagem.

O sistema é um conjunto de componentes e suas inter-relações, agrupadas com o objetivo de estudar alguma parte do mundo real; a seleção desses componentes depende dos objetivos do estudo. Assim, Aris (1994) cita que modelos representam uma série de fenômenos compreendendo aspectos físicos, químicos, biológicos, sociais e/ou conceituais. Quando um sistema é representado matematicamente por equações, temos um modelo matemático, o qual vai definir quantitativamente hipóteses assumidas sobre o sistema real, permitindo deduzir suas conseqüências (Dourado Neto et al., 1998).

Existem diversas classificações propostas para os modelos, mas, em geral, consideram os modelos matemáticos, aqueles que buscam as representações matemáticas de um fenômeno, e de simulação, ou seja, englobam um ou mais modelos matemáticos, representando fenômenos mais complexos (PAUSTIAN; PARTON; PERSSON, 1992).

Os modelos matemáticos podem ser: i) empíricos, baseados apenas em dados observados; ii) mecanísticos, considerando as leis físicas, químicas e biológicas no processo - são os mais versáteis dentre os modelos matemáticos; e iii) estocásticos, em que o processo é descrito pelas leis de probabilidade (PAUSTIAN; PARTON; PERSSON, 1992).

Modelos matemáticos empíricos são baseados na interação quantitativa entre os elementos considerados, ou seja, os resultados não se baseiam na explicação dos fenômenos envolvidos. Normalmente, tais modelos fundamentam-se na análise de regressões e, via de regra, requerem grande número de dados para o seu desenvolvimento (COSTA, 1997). Portanto, como os modelos empíricos não consideram o entendimento do sistema, apresentam restrições à extrapolação de seus resultados.

Modelos matemáticos mecanísticos são aqueles baseados na descrição do processo que ocorre no sistema real considerado, ou seja, há a tentativa de se considerar os princípios físicos que ocorrem no sistema. Para tanto, esses modelos procuram descrever as ocorrências a partir dos

processos anteriores, muitas vezes utilizando submodelos empíricos. Como restrição, cita-se a dificuldade na obtenção dos dados necessários para o seu desenvolvimento; por outro lado, apresentam pouca restrição à extrapolação geográfica e temporal dos resultados (COSTA, 1997).

Outras subdivisões dos modelos matemáticos são aquelas que consideram os modelos determinísticos e os modelos estocásticos. Modelos determinísticos são modelos nos quais as respostas ou os resultados são fornecidos sem nenhum grau de probabilidade. Já os modelos estocásticos apresentam um grau de probabilidade associado a suas respostas, característica comum aos modelos empíricos. Existem ainda os modelos dinâmicos, que consideram as variações temporais que ocorrem no sistema a ser modelado (COSTA, 1997).

Quanto aos modelos de simulação, podem ser divididos em: i) determinísticos, em que um conjunto de eventos leva a um resultado único e definido e ii) estocásticos, que levam em conta a incerteza na sua estrutura. As duas categorias mencionadas podem ainda dividir os modelos de simulação em: i) mecanísticos, que procuram descrever os mecanismos envolvidos no processo e ii) funcionais, que descrevem apenas os aspectos gerais do processo (ADDISCOTT, 1993).

A grande complexidade do sistema agrometeorológico exige que o desenvolvimento de modelos em agrometeorologia considere os diferentes níveis de organização envolvidos nesse sistema. Segundo Costa (1997), alguns dos níveis biológicos que podem ser considerados no sistema agrometeorológico são a cultura, a planta, o órgão, o tecido, a célula e as suas organelas.

É interessante observar as diferenças entre os níveis, bem como a dependência do nível inferior, mas o contrário não é verdadeiro. É o princípio científico do reducionismo, base dos modelos mecanísticos (COSTA. 1997).

A produtividade biológica de uma espécie depende das interações entre a planta e o ambiente, sendo o limite máximo estabelecido por causas intrínsecas geneticamente controladas, ou seja, o potencial de produção é próprio do genótipo. Se o complexo ambiental é favorável, é possível à planta alcançar sua máxima produção, situação teórica difícil de ser atingida na prática. Portanto, o rendimento de uma cultura é função de causas genéticas, do adequado uso de insumos e da oferta ambiental durante o ciclo vital da cultura (NUNES, 1993).

As relações entre variáveis ambientais e tecnológicas e o rendimento das culturas são extremamente complexas; para sua melhor compreensão, são desenvolvidos modelos que procuram quantificar os efeitos da interação entre a oferta ambiental, o genótipo e os insumos aplicados, com ênfase na produção e rendimento das partes econômicas das culturas, também

denominados Modelos de Cultura. Para tanto, os Modelos de Cultura podem ser classificados em três categorias: i) modelos de simulação de crescimento; ii) modelos empírico-estatísticos; e iii) modelos de análise de sistemas (WIT; GOUDRIAAN, 1978).

Os modelos de simulação consideram que o impacto das variáveis ambientais pode ser simulado por meio de equações matemáticas. A categoria apresenta restrições devido à complexidade das relações entre o ambiente e a planta, além da carência de informações detalhadas sobre tais relações (BAIER, 1979; WIT; GOUDRIAAN, 1978).

A segunda categoria, de modelos empírico-estatísticos, pretende, com base em séries históricas de dados meteorológicos e dados de rendimento das culturas, estimar o comportamento das culturas; portanto, a validade dos resultados destes modelos dependem da representatividade dos dados utilizados, o que dificulta sua extrapolação (BAIER, 1979).

Já a terceira categoria tem por objetivo explicar, com base em processos físicos e fisiológicos, os efeitos das variáveis ambientais e tecnológicas sobre o desenvolvimento, a produção e, conseqüentemente, o rendimento de uma determinada cultura (BAIER, 1979).

Sem dúvida alguma, o modelo agrometeorológico mais difundido é o que determina o ciclo da planta baseado na soma térmica, ou graus-dias, definido como a diferença entre a temperatura média diária e a temperatura basal da planta. Este modelo foi bastante utilizado para a previsão do ciclo de genótipos de milho na África sob colonização holandesa. As limitações deste modelo devem-se ao fato de que a temperatura basal é variável com o genótipo, e em geral aumenta com o ciclo vital da planta; em ambientes mais frios que a temperatura basal, a exemplo de países europeus, o modelo não estima adequadamente o ciclo da planta (BERLATO; SUTILI, 1976; LIMA, 1995).

A despeito da notável aplicação do modelo de graus-dias, Larcher (1995) considerou a intensidade luminosa como a principal previdente do desenvolvimento das plantas, pois a temperatura tem efeitos complexos, interagindo com luz e água, entre outros fatores. Assim, o conceito de temperatura ótima deve ser visto com cautela, uma vez que a temperatura varia com o estádio de desenvolvimento da planta; exemplo cabal é o fato de que a temperatura ótima para germinação não é a mesma para a frutificação, podendo ainda ser diferente da temperatura ótima para a fotossíntese (NUNES, 1993).

Por outro lado, existem três meios de transferência de calor entre as plantas e o ambiente: i) condução e convecção na forma de calor sensível; ii) evaporação, condensação, congelamento e

descongelamento e sublimação da água; e iii) radiação direta, o seja, a água participa de todos os processos da vida sendo fator limitante ao desenvolvimento das plantas e se relaciona intimamente com a temperatura. Assim, com o suprimento ótimo de água e de nutrientes, e na ausência de plantas invasoras, pragas e doenças, a taxa de crescimento é determinada pela radiação solar (HEEMST; MERKELIJN; KEULEN, 1981).

A partir do exposto sobre a produção vegetal e modelos, é possível inferir que, em condições favoráveis ao desenvolvimento, os processos fisiológicos e a produtividade potencial das culturas são determinados principalmente pelo genótipo e por variáveis abióticas, notadamente temperatura e radiação. Ou seja, a capacidade da planta de produzir fitomassa está diretamente relacionada à energia luminosa disponível e à capacidade de aproveitamento dessa energia, o que torna importante a análise do desenvolvimento da cultura em diferentes situações, já que o potencial de produtividade das culturas varia segundo o local e o período de cultivo (KROPFF et al., 1995).

Os modelos de simulação para culturas têm sido usados para quantificar o potencial de produtividade em diferentes ambientes e, geralmente, descrevem o desenvolvimento e a capacidade produtiva da cultura em áreas homogêneas sob determinadas condições climáticas (KROPFF et al., 1995). Para tanto, é necessário estimar alguns índices fisiológicos, os quais implicam o conhecimento da variação temporal da fitomassa seca e do índice de área foliar. Além desses índices relacionados à cultura, fatores climáticos como a radiação e a temperatura devem ser levados em conta, ou seja, a produtividade depende do balanço de energia no dossel da cultura, que por sua vez está correlacionado à temperatura média do ar (PEREIRA; MACHADO, 1987; GOUDRIAAN; LAAR, 1994).

Um dos primeiros modelos propostos para a estimativa da produção de fotoassimilados em função da área foliar e ângulo de inserção das folhas, além de considerar outros elementos inerentes ao dossel da cultura, como velocidade do vento, CO_2, radiação e transpiração, foi o SPAM, no qual posteriormente foi incluída uma equação considerando a atividade estomática (DUNCAN, 1975). O modelo ELCROS foi desenvolvido para simular o crescimento da planta de milho (WIT; GOUDRIAAN, 1978), assim como o modelo SIMAIZ (DUNCAN, 1975). Entretanto, todos são limitados, pois não levam em consideração todos os fatores e interações entre o ambiente e a planta, caso do modelo SIMAIZ, que considera que a produção de fotoassimilados seja função única das interações entre radiação, temperatura e área foliar.

Mais tarde, ANDRADE; UHART; ARGUISSAIN (1991) propuseram que o rendimento da cultura é expresso pela interação da radiação incidente com a eficiência de interceptação da radiação incidente, a eficiência de conversão da radiação interceptada e a partição de fotoassimilados. Nesse caso, a radiação incidente pode aumentar segundo a latitude; entretanto, deve-se considerar a taxa de desenvolvimento por unidade de tempo térmico, uma vez que temperatura afeta o ciclo da planta (DOURADO NETO, 1999).

A eficiência de interceptação da radiação incidente considerada por ANDRADE; UHART; ARGUISSAIN (1991) diz respeito ao genótipo, à arquitetura da parte aérea e à idade, além da distribuição espacial das plantas. Supõe-se que a melhor distribuição das plantas seja a quadrada; contudo, Vieira Junior et al. (2005) destacam a importância da arquitetura da parte aérea e da declinação solar, o que pode resultar em distribuições. Já a partição de fotoassimilados é função principalmente do genótipo, enquanto a eficiência de conversão da radiação interceptada, além do genótipo, é afetada pelo estado nutricional e pela sanidade da planta, pela temperatura e pela disponibilidade hídrica, entre outros (ANDRADE; UHART; ARGUISSAIN, 1991; LIMA, 1995; MAGALHÃES; PAIVA, 1993; WIT; GOUDRIAAN, 1978). Assim, os processos da fotossíntese, respiração, transpiração e evaporação são funções diretas da energia disponível no ambiente, comumente designada por calor, ao passo que o desenvolvimento e a translocação são funções da disponibilidade hídrica, sendo seus efeitos pronunciados em condições de altas temperaturas, quando a evapotranspiração é elevada (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Para o real entendimento do conceito de modelos agrometeorológicos de simulação, é necessário que se faça uma distinção entre de: i) sistema, ou uma parte limitada da realidade que contém vários elementos inter-relacionados; ii) modelos, ou a representação simplificada do sistema; e iii) simulação, ou a construção e estudo de modelos matemáticos em relação ao sistema (WIT; GOUDRIAAN, 1978). Essa conceituação, segundo Costa (1997), causa polêmica, pois todo modelo é um sistema, mas o inverso também pode ser verdadeiro. Assim, sendo o sistema uma parte limitada da realidade, é necessário, na concepção do modelo, isolar o sistema do seu ambiente, o que implica aceitar que o ambiente pode influenciar o sistema, mas o sistema não deve influenciar o ambiente.

O desenvolvimento e a utilização de modelos nas atividades agrárias é freqüente alvo de questionamento pela comunidade científica. Assim, sumarizando respostas a essas dúvidas e incertezas, Boote, Jones e Pickering (1996) destacam algumas das principais razões que justificam

o desenvolvimento de modelos agrometeorológico: i) são ferramentas importantes para sumarizar o conhecimento científico; ii) auxiliam na tomada de decisões agrícolas, ou seja, são instrumentos para o manejo da agricultura; iii) atividades de planejamento; iv) o grande potencial didático do desenvolvimento de modelos; e v) a orientação e a racionalização de experimentos convencionais.

De acordo com Costa (1997), uma questão também sempre em evidência quando se trata de modelos, principalmente no Brasil, é o fato de que, com tantos modelos já desenvolvidos, por que desenvolver outros? Tal indagação é conseqüência da filosofia dos modelos, ou seja, quando são utilizados modelos desenvolvidos em outros locais, implicitamente está sendo aceita toda a teoria utilizada, muitas vezes sem que sequer seja conhecida.

Apesar do grande esforço que a comunidade científica tem dedicado às técnicas de modelagem, a avaliação de um modelo ainda carece de mais detalhamento. Deve entrar em cena uma avaliação subjetiva baseada em critérios de utilidade e simplicidade, entre outros, além de outra avaliação, objetiva, a qual utiliza critérios pré-definidos. Nesse sentido, é importante ressaltar que, pelos conceitos e definições apresentados, o modelo é uma teoria científica sobre o funcionamento de um certo sistema. Dessa forma, deve-se ter em conta que uma teoria científica pode apenas ser falsificada, nunca validada. Assim sendo, não é recomendável utilizar o termo "validação do modelo", mas sim a expressão "teste do modelo" (COSTA. 1997).

Um dos métodos mais utilizados para se realizar o que se chama de teste empírico do modelo é a comparação dos dados reais com os dados simulados. No entanto, é necessário ressaltar que o teste empírico é somente uma parte da avaliação do modelo, e que, quando necessário, deve ser utilizado com prudência, a fim de evitar erros de interpretação (COSTA, 1997).

Um dos métodos mais usados recentemente é a análise da diferença entre valores simulados e observados. O procedimento apresenta uma série de vantagens em relação ao convencionalmente utilizado, ou seja, a simples comparação de dados reais com dados simulados. Para que tal procedimento tenha sentido, são necessárias algumas considerações, tais como a definição de quais variáveis serão testadas e quais os níveis de precisão aceitáveis para essas variáveis. No teste do modelo devem ainda ser considerados, sempre que possível, os erros envolvidos nos dados obtidos de experimentos (COSTA, 1997).

Também faz parte das técnicas de avaliação de modelo a calibração, ou seja, o ajuste de parâmetros ou relações para sua adequação em condições distintas da original. Entretanto, o uso

indiscriminado da calibração pode descaracterizar parte do seu mecanismo; já a calibração excessiva pode ocultar falhas que seria importante conhecer. Outro aspecto relevante a ser considerado nos testes dos modelos é que devem ser feitos para longos períodos de tempo e nas mais diversas condições ambientais (COSTA, 1997).

O potencial da utilização dos modelos agrometeorológicos tem sido mostrado em diversos países. A literatura cientifica é rica em exemplos de utilização de modelos para diferentes objetivos, a exemplo da estimativa da produção potencial, a previsão de efeitos de mudanças climáticas de curto e longo prazo e manejo de irrigação (COSTA, 1997).

No Brasil, apesar de alguns exemplos de sucesso, as técnicas de modelagem não estão sendo desenvolvidas nem utilizadas em seu pleno potencial, pois se faz necessário destacar a distinção entre o desenvolvimento e a simples utilização de modelos. Para a formação de uma massa crítica de modelagem e o aproveitamento de todos os seus benefícios didáticos e científicos, é preciso que sejam desenvolvidos modelos levando-se em consideração as condições brasileiras, pois a mera utilização de modelos criados e aperfeiçoados em outros países representa a manutenção e a perpetuação da dependência tecnológica do país (COSTA, 1997).

Cumpre também destacar algumas das limitações dos modelos. O desenvolvimento e a utilização de modelos normalmente são limitados pela disponibilidade de dados de entrada e também pela falta de conhecimento da parte do sistema que se quer modelar. No entanto, é comum encontrar na literatura referências a modelos que apresentam níveis de complexidade incompatíveis com o nível de conhecimento científico atual. Portanto, é necessário que uma hipótese científica bem elaborada e experimentos convencionais específicos estejam sempre associados ao desenvolvimento de modelos (COSTA, 1997).

As culturas são sistemas; como tais, podem se dividir em níveis hierárquicos, para cada um dos quais têm sido desenvolvidos vários tipos de modelos. Assim, antes de se propor um modelo, deve-se definir seu nível hierárquico de utilização, bem como o contorno dos limites do sistema (JONES; MISHOE; BOOTE, 1987).

Os parâmetros são componentes do modelo usualmente constantes ao longo do tempo. Por exemplo, nos modelos agrometeorológicos os parâmetros podem definir a resposta funcional da fotossíntese à luz, a resistência do solo à densidade de fluxo de água, a resposta funcional da variação temporal do índice de área foliar e a perda de água pela planta no processo evapotranspiratório. A distinção entre parâmetro e entrada nem sempre é clara, mas, usualmente,

as entradas são dependentes do tempo, enquanto que os parâmetros são constantes ou dependem do estado do sistema, mas não necessariamente do tempo (JONES; MISHOE; BOOTE, 1987).

As variáveis de estado são quantidades que descrevem as condições dos componentes no sistema e podem mudar com o tempo, assim como os componentes do sistema interagem com o meio. Se as variáveis de estado mudam no tempo, os modelos são dinâmicos. Por exemplo, o conteúdo de água no solo e a biomassa da cultura são duas variáveis de estado que mudam com o tempo, na maioria dos modelos de cultura. As variáveis de estado desses modelos têm muita importância porque essas são as características dinâmicas da cultura de interesse do modelador (JONES; MISHOE; BOOTE, 1987).

As inter-relações entre os componentes e o sistema, e algumas vezes entre variáveis no sistema, ocorrem como resultado de vários processos. Por exemplo, a biomassa de uma cultura, variável de estado, muda como o resultado dos processos de fotossíntese e respiração; o conteúdo de água no solo muda como o resultado da chuva e da evapotranspiração. Assim, pode-se dizer que um modelo é um conjunto de relações que descrevem as mudanças nas variáveis de estado como o resultado dos diferentes processos que ocorrem no sistema (JONES; MISHOE; BOOTE, 1987).

Na agricultura, em geral os modelos têm sido usados para a simulação do crescimento da planta e para a previsão da produtividade. A relação funcional entre crescimento e desenvolvimento relativo, em termos de graus-dias, e entre fenologia e variação temporal do índice foliar têm sido comumente utilizadas para essa finalidade. Usualmente os modelos de simulação de produtividade potencial das culturas utilizam vários atributos da planta relacionados à produção de fitomassa seca, tais como área foliar, o crescimento e a fenologia (YIN, 1996). Dourado Neto (1999) sugere modelos cossenoidais para expressar a forma sigmoidal de crescimento de uma planta. A vantagem desses modelos é a expressão matemática da caracterização geral de desenvolvimento da cultura.

2.3.1 Modelo de Cultura para milho

Há anos vêm sendo desenvolvidos modelos de estimativa do rendimento da cultura de milho, com base em variáveis meteorológicas e outras derivadas do balanço hídrico, porém com grandes limitações. Assim, a previsão de rendimento torna-se mais precisa quando os modelos de simulação são usados para estimar a produção em grandes áreas (LOZARDA; ANGELOCCI, 1999). Dependendo da especialidade de cada pesquisador, os trabalhos enfatizam determinados aspectos e apresentam diferentes abordagens para quantificar as ações do clima na produtividade da cultura de milho. Como exemplo, citam-se os estudos de Assis (2004), Baier (1973), Figueredo Júnior (2004), Frère e Popov (1980), Liu (1989), Mondragón (1990), Silva, Vicente e Caser (1986) e Thompson (1969), descritos a seguir.

No modelo de Thompson (1969), a influência do clima sobre a produtividade do milho é separada da tendência tecnológica, e utiliza-se a análise de regressão múltipla para a obtenção dos desvios da produtividade em relação a essa tendência. Segundo o autor, em cinco estados produtores de milho nos Estados Unidos da América, entre os anos de 1930 a 1960, o modelo indicou um incremento médio anual de 201 $kg.ha^{-1}$ no rendimento de grãos, observando-se que os desvios durante o período foram explicados pelas condições do tempo e do clima.

Silva, Vicente e Caser (1986) desenvolveram modelos de previsão de produtividade do milho no estado de São Paulo, cobrindo o período de Outubro a Março. Os melhores resultados, em termos de previsão, foram obtidos com equações relacionando produtividade às deficiências hídricas dos meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março e uma variável associada à tendência tecnológica. Nos modelos com períodos de *deficit* hídrico iniciados em Dezembro todos os parâmetros foram significativos a pelo menos 90% de confiança, enquanto os meses de Outubro e Novembro, quando introduzidos nos modelos, não foram significativos. O erro percentual médio do modelo, com deficiências hídricas de Dezembro a Março, foi de 3,9%.

Mondragón (1990) desenvolveu modelos agroclimáticos para estimar o rendimento de grãos da cultura do milho para oito localidades do estado de Minas Gerais, com base na tendência tecnológica e em variáveis derivadas do balanço hídrico decendial, a saber, necessidades hídricas, excesso hídrico, deficiência hídrica e o índice "I" das necessidades hídricas.

Liu (1989) utilizou um modelo de simulação do crescimento do milho pelo processo fisiológico, denominado "CERES-Maize Model", para estimar o rendimento de grãos de milho na região de Sete Lagoas, no estado de Minas Gerais. O modelo simula os efeitos do código

genético, do clima e das condições físicas do solo no desenvolvimento e na produtividade do milho. Os dados climáticos, de solo e da cultura naquela região mineira, no período de 1963 a 1987, foram usados para avaliar o desempenho do modelo. Os rendimentos de grãos estimados pelo modelo foram iguais a 98,3, 107,1, 103,6, 90,2 e 91,3% das observadas para os anos de 1983, 1984, 1985, 1986 e 1987, respectivamente. Verifica-se, assim, um erro de estimativa menor que 10%.

Frère e Popov (1980) apresentam um método para a previsão de safras agrícolas, incluindo o milho, com base em dados meteorológicos. O modelo processa o balanço hídrico do solo durante o desenvolvimento de uma cultura, em períodos de sete ou dez dias, para demonstrar as variações de produtividade associadas às condições hídricas do solo. O método tem como finalidade obter um índice que representa, em percentagem, a amplitude com que as demandas hídricas de uma cultura anual são satisfeitas em cada estádio do seu período de crescimento.

Figueredo Júnior (2004) propôs um modelo mecanístico para a estimativa do rendimento de grãos de milho para o estado de São Paulo com base nos valores mensais de temperatura, radiação solar e chuva; foi possível identificar as restrições quanto à deficiência hídrica, temperatura, radiação solar, rendimento potencial e rendimento de grãos de milho espacializadas, segundo os municípios paulistas.

Baier (1973) desenvolveu um modelo no qual se avalia a interação da contribuição diária de três ou mais variáveis agrometeorológicas no rendimento da cultura como sendo função de períodos biometeorológicos. No modelo, consideram-se, para estimativas de rendimento, dados climatológicos, como as temperaturas máxima e mínima do ar e parâmetros agrometeorológicos como a evapotranspiração real e potencial.

Assis (2004), utilizando um modelo estocástico, estimou o rendimento potencial da cultura de milho em Piracicaba, interior de São Paulo, em função de temperatura e radiação solar média diária, concluindo que as distribuições normal truncada, triangular simétrica e triangular assimétrica podem ser utilizadas para a estimativa do rendimento de milho.

Dentre os modelos desenvolvidos para a cultura, destaca-se o CERES-MAIZE, componente de uma série de modelos de simulação dos processos fisiológicos chamada CERES (*Crop Environment Resouce Synthesis*), por levar em consideração dados relacionados às condições atmosféricas, ao solo, às constantes genéticas e às práticas de manejo. O modelo tem sido testado em diversos locais, com bons resultados de estimativa de rendimento. Citações de

Lima (1995) sobre trabalhos usando dados históricos de temperatura e precipitação pluvial para representar o Tempo meteorológico futuro, substituindo-os por dados reais durante o desenvolvimento da cultura e empregando o CERES-MAIZE na previsão de rendimento de safra nos estados que compõem o "cinturão do milho" (*corn belt*) nos EUA, concluem que a variância associada à previsão é relativamente constante até o florescimento, reduzindo durante o ciclo.

O CERES-MAIZE avaliado por Lima (1995) no Brasil apresentou: i) sensibilidade aos parâmetros genéticos e hídricos, com destaque para o parâmetro capacidade de água disponível; ii) potencial para identificar sistemas de cultivo e de manejo, ou fatores agronômicos específicos como data de semeadura; e iii) estimativa correta do crescimento e desenvolvimento da cultura. Entretanto, Lima (1995) conclui que o CERES-MAIZE em ambientes tropicais necessita de correção da equação que determina a variação temporal do índice de área foliar e da matéria seca e alguns parâmetros relativos aos requerimentos térmicos para os períodos vegetativos (P1) e reprodutivo (P3), além do coeficiente P2, que corresponde aos dias de atraso na iniciação da floração masculina para cada hora de incremento do fotoperíodo acima de 12,5 horas. No mais, esse modelo requer os valores para o número potencial de grãos por planta (G2), para a taxa de crescimento de grãos (G3) e para taxa de aparecimento de folhas (PHINT). Considerando que o CERES-MAIZE foi desenvolvido para ambiente temperado e que esses parâmetros são dependentes do germoplasma e de sua interação com o ambiente, é possível deduzir a necessidade de estudos para suas determinações em condições tropicais e a dificuldade da sua aplicação prática no Brasil.

No caso específico do milho, verifica-se que, além de temperatura, a disponibilidade hídrica e radiação são os fatores de maior efeito sobre o rendimento de grãos, pois a concentração de CO_2 na atmosfera é relativamente constante (CHEN; FONSECA, 1980).

Quanto à disponibilidade hídrica, uma vez que é controlada na planta pela abertura estomática, a qual determina a transpiração e afeta a assimilação de CO_2, é possível concluir que a determinação de um coeficiente entre a transpiração da planta e a máxima possível representa o efeito da disponibilidade hídrica sobre a assimilação de CO_2 e, conseqüentemente, sobre a produção de fotoassimilados.

Apesar da pequena contribuição na variação da produção, para a estimativa da produção de uma planta o principal processo a ser considerado é a assimilação, ou seja, a absorção e posterior redução do CO_2 atmosférico em fotoassimilado, processo que depende, dentre outros fatores, da

radiação e da temperatura, por sua vez dependentes da duração do fotoperíodo diário. Nesse caso, destaca-se que a assimilação máxima das plantas é da ordem de 88 kilogramas de CO_2 por hectare em um dia (TAIZ; ZEIGER, 2004)

Inúmeras evidências experimentais apontam que a temperatura representa um dos mais importantes e decisivos fatores de produção para o desenvolvimento do milho, embora a água e demais componentes climáticos exerçam influência direta sobre o processo. Regiões cujo verão apresenta temperatura média diária inferior a 19°C e noites com temperaturas médias abaixo de 13°C não são recomendadas para a cultura do milho (ANDRADE, 1992).

Temperaturas do solo inferiores a 10°C e superiores 42°C prejudicam sensivelmente a germinação, ao passo que aquelas situadas entre 25°C e 30°C propiciam as melhores condições para o desencadeamento dos processos de germinação das sementes e emergência das plântulas. Estima-se que para os germoplasmas utilizados no Brasil esse período requer cerca de 60 GD (ANDRADE e BORBA, 1993).

Nos períodos de florescimento e de maturação, temperaturas médias diárias superiores a 26°C podem promover a aceleração dessas fases, da mesma forma que temperaturas inferiores a 15,5°C podem prontamente retardá-las (VIEIRA JUNIOR, 1999). Dados experimentais relatam que, cada grau de temperatura média diária superior a 21,1°C, nos primeiros 60 dias após a semeadura, pode apressar o florescimento de dois a três dias (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). A produtividade do milho pode ser reduzida, bem como pode sofrer alterações a composição protéica dos grãos, quando da decorrência de temperaturas acima de 35°C. Tal efeito está relacionado à diminuição da atividade de reductase do nitrato, com conseqüente interferência no processo de transformação do nitrogênio (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

A elevação da temperatura contribui para a redução da taxa fotossintética líqüida em função do aumento da respiração, com interferência direta na produção. Assim, temperaturas elevadas, em geral maiores que 20ºC, no período noturno, promovem um consumo elevado de fotoassimilados em função do incremento na respiração, resultando em menor acumulação de fotoassimilados e a conseqüente redução na produtividade da cultura. Da mesma maneira, temperaturas acima de 32°C reduzem sensivelmente a germinação do grão de pólen, por ocasião de sua emissão (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Assim, é recomendável considerar as temperaturas noturna e diurna para a estimativa da produção biológica em plantas de milho.

A maioria dos genótipos atuais não se desenvolve em temperaturas inferiores a 10°C, tida como a temperatura basal para a espécie; todavia, alguns trabalhos de pesquisa indicam que a temperatura basal para genótipos tardios é maior do que aquela correspondente aos genótipos precoces (BERLATO; SUTILI, 1976), o que implica o conhecimento desse parâmetro fisiológico para estimativa do desenvolvimento da planta de milho.

A medida de temperatura na planta quantifica a energia interna em função da temperatura do ar, possibilitando assim trocas com o sistema e o meio, provocando estímulos e ativando ou desativando funções vitais (OMETTO, 1981). No desenvolvimento da planta de milho, a duração do ciclo em dias tem demonstrado inconsistência, pois a duração de subperíodos e dos ciclos da planta está associada às variações das condições ambientais, e não ao número de dias.

De forma generalizada, a temperatura apresenta-se como o elemento climático mais importante para a previsão dos eventos fenológicos da cultura. Tendo em vista o sucesso na predição dos estádios de desenvolvimento da cultura do milho, os modeladores têm afirmado que o conceito unidade térmica é universalmente aplicável (LIMA, 1995). Segundo Villa Nova et al. (1972), a quantidade de energia exigida por uma cultura, expressa em graus-dias - ou unidades térmicas de desenvolvimento - tem como base teórica o pressuposto de que todos os processos envolvidos no desenvolvimento vegetal são sensíveis à temperatura, destacando-se que a resposta das plantas à temperatura obedece a limites e é extensiva ao desenvolvimento da cultura. Nesse caso, é preciso atentar para as diferenças nas temperaturas na superfície do solo, no ar e no interior do dossel; Cellier (1993) recomenda considerar a temperatura do solo até que a cultura de milho atinja o índice de área foliar três na estimativa da temperatura do ambiente a que a planta está submetida.

Quanto ao fotoperíodo, o milho é considerado uma planta neutra ou de dias curtos (VIEIRA JUNIOR, 1999). Seu desenvolvimento é afetado pela quantidade de radiação solar, e as maiores produtividades são alcançadas em condições de alta radiação, em virtude de pertencer ao grupo de plantas C4 (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

A incidência de radiação na superfície terrestre é dependente da quantidade de energia que atinge o topo da atmosfera e da transmissividade da atmosfera à radiação. A distribuição difusa representa a parte da radiação que interage com gases e nuvens presentes na atmosfera (GOUDRIAAN; LAAR, 1994). O balanço de energia radiante, também denominado radiação líqüida, vem a ser a diferença entre a radiação incidente, de ondas curtas, e a radiação emitida pela

superfície, de ondas longas, ou seja, é o saldo de radiação sobre uma superfície (OMETTO, 1981). Esses fatos são relevantes para a verificação do total e da distribuição de luz na cobertura vegetal.

Algumas considerações sobre a importância do balanço de energia e a radiação líqüida na determinação do fluxo de vapor de água na atmosfera são feitas por Villanueva (1987), e diversos foram os estudos desenvolvidos por pesquisadores voltados ao monitoramento do saldo de radiação, bem como aos aspectos de sua partição nos mais variados sistemas agrícolas. A radiação solar é praticamente a única fonte de energia para os processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem nos vegetais. Sendo assim, a produção final de matéria seca de uma planta depende, em última instância, da eficiência com que as folhas convertem energia radiante em energia química, por meio da fotossíntese. Para tanto, deve-se considerar que a produção depende da área foliar, expressa pelo índice de área foliar, cujo valor ótimo para a cultura do milho está entre cinco a sete $m^2.m^{-2}$, destacando que IAF acima de 12 compromete a produção da cultura (AFFHOLDER, RODRIGUES; ASSAD, 1997; VIEIRA JUNIOR et al., 2005).

Tendo-se em mente todas as considerações acerca dos modelos de cultura e ecofisiologia do milho, é possível inferir que o CO_2 assimilado pode ser convertido em massa de carboidrato em função do índice de área foliar, da temperatura e da radiação solar interceptada pelo dossel da cultura. Estimando-se os valores de fotoperíodo, índice de área foliar e duração do ciclo, levando-se em conta as correções quanto à respiração de manutenção e a conversão de carboidratos, ou respiração de crescimento, bem como a variação temporal da área foliar, pode-se transformar esse valor em massa líqüida de carboidrato total final produzida durante o ciclo da cultura. Assim, a radiação incidente, função da localização geográfica e da época do ano, a eficiência de interceptação, que depende da idade da planta e arquitetura do dossel da cultura, a produção de fotoassimilados, que depende principalmente da temperatura e da disponibilidade hídrica, além das taxas de respiração, da partição de fotoassimilados e de conversão de carboidratos, as quais dependem principalmente do genótipo, da temperatura e da disponibilidade hídrica, são os principais aspetos a serem considerados no estabelecimento de modelos de cultura para milho. No caso dos parâmetros atmosféricos radiação e temperatura, esses podem ser medidos com relativa facilidade. Já a disponibilidade hídrica depende, além das medidas de chuva e/ou de irrigação, da evapotranspiração, que pode ser estimada por modelos agrometeorológicos que computam a localização geográfica, a temperatura e a umidade relativa do ar.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento e a avaliação de modelos de culturas e de previsão do clima requerem, além de parâmetros físicos da atmosfera e fisiológicos das plantas, dados observados de parâmetros atmosféricos e do desenvolvimento da cultura. Nesse caso, Assis (2004) e Figueredo Júnior (2004) comentam sobre a escassez e as dificuldades na obtenção desses dados e parâmetros no Brasil. Assim, para os três pontos enfatizados nesta tese - a saber: i) possibilidade da previsão de parâmetros climáticos diários utilizando séries históricas e considerando o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS); ii) avaliação da acurácia dos parâmetros atmosféricos gerados pelo modelo Eta; e iii) estimativa do rendimento de grãos de milho - foram considerados os locais em importantes regiões produtoras de milho no Brasil, com realce na região Centro-Sul, que dispusessem concomitantemente de dados sobre a cultura, em especial o rendimento potencial de grãos, além de parâmetros atmosféricos diários, notadamente a chuva, a umidade relativa do ar, a radiação líqüida e as temperaturas máxima e mínima.

Os genótipos de milho comercializados no Brasil devem ser inscritos no Registro Nacional de Cultivares, o qual estabelece uma série de procedimentos para a compra e a venda de sementes com base nos atributos do genótipo expressos pelo Valor de Cultivo e Uso e o Zoneamento Agrícola. Os ensaios que compõem a Rede Nacional de Avaliação de Cultivares de Milho são organizados e elaborados de acordo com as normas para registro no RNC e executados com vários cooperadores públicos e privados, avaliando em rede, nos principais centros produtores, os genótipos de milho desenvolvidos por entidades públicas e privadas. Em outros termos, a média desse ensaio representa aproximadamente a média dos germoplasmas disponíveis aos agricultores brasileiros (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2005b).

Assis (2004) e Figueredo Júnior (2004) destacam que o Ensaio Nacional de Cultivares de Milho, coordenado pela Embrapa Milho e Sorgo e integrante da Rede Nacional de Avaliação de Cultivares de Milho, representa a média atualizada dos germoplasmas disponibilizados no Brasil segundo os ciclos superprecoce, precoce e normal. Portanto, essa rede de ensaios, caracterizada por ciclos dos genótipos, regiões de produção e períodos de cultivo, é representativa do germoplasma e da oferta ambiental das principais épocas de cultivo nos locais brasileiros produtores de milho, notadamente a região Centro-Sul.

Os experimentos do Ensaio Nacional de Cultivares de Milho são realizados anualmente, de modo a minimizar os estresses bióticos e alguns abióticos, a exemplo da população e nutrição de

plantas. Nesses ensaios são avaliados os ciclos vegetativo e reprodutivo, a população de plantas final e o rendimento de grãos corrigido para teor de água igual a 13%. Entretanto, os experimentos não sofrem interferências quanto aos parâmetros atmosféricos mais importantes, a exemplo da disponibilidade hídrica e da temperatura, ou seja, são realizados com o objetivo de otimizar a expressão do potencial produtivo dos germoplasmas considerando os parâmetros atmosféricos locais (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2005b).

Considerando o exposto sobre o Ensaio Nacional de Cultivares de Milho, é possível inferir que esses experimentos aproximam-se da produção máxima para as condições atmosféricas vigentes no ciclo da cultura; entretanto, é preciso levar em conta que a supressão completa de estresses bióticos e abióticos é utopia, e que, apesar de minimizada, sempre haverá defasagem entre os valores medidos e os potenciais de cada germoplasma avaliado. Assim, optou-se por utilizar na região Centro-Sul os resultados do Ensaio Nacional de Cultivares de Milho, ciclo precoce e safra normal, para a avaliação do modelo de cultura a ser desenvolvido. Para tanto, os rendimentos de grãos medidos nos locais indicados na Tabela 3 pelo Ensaio Nacional de Cultivares de Milho do ciclo precoce na região Centro-Sul do Brasil foram comparados aos rendimentos de grãos estimados pelo modelo de cultura, utilizando-se os parâmetros atmosféricos de radiação, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação pluvial e umidade relativa do ar medidos efetivamente e os dados previstos pelo modelo Eta.

Comparando-se os rendimentos de grãos estimados pelo modelo de cultura a partir dos parâmetros atmosféricos medidos, doravante denominado por rendimento de grãos de milho estimado, foi possível avaliar a acurácia do modelo de cultura. Comparando-se os resultados estimados pelo modelo de cultura com os parâmetros atmosféricos previstos pelo modelo Eta, doravante denominado por rendimento de grãos de milho previsto, foi possível inferir a aplicação desse modelo climático na previsão do comportamento da cultura do milho em uma dada região, ou seja, trata-se da realização da Previsão de Safra de Milho, objeto de interesse de políticas agrícolas nacionais.

Vale destacar que não foram considerados os ensaios da “safrinha” dessa rede, ou seja, ensaios realizados em períodos de estresse ambiental (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2005b) e que, portanto, podiam apresentar outras interações entre os genótipos e os fatores de oferta ambiental sobre o rendimento de grãos, o que comprometeu, assim, a avaliação do modelo de cultura.

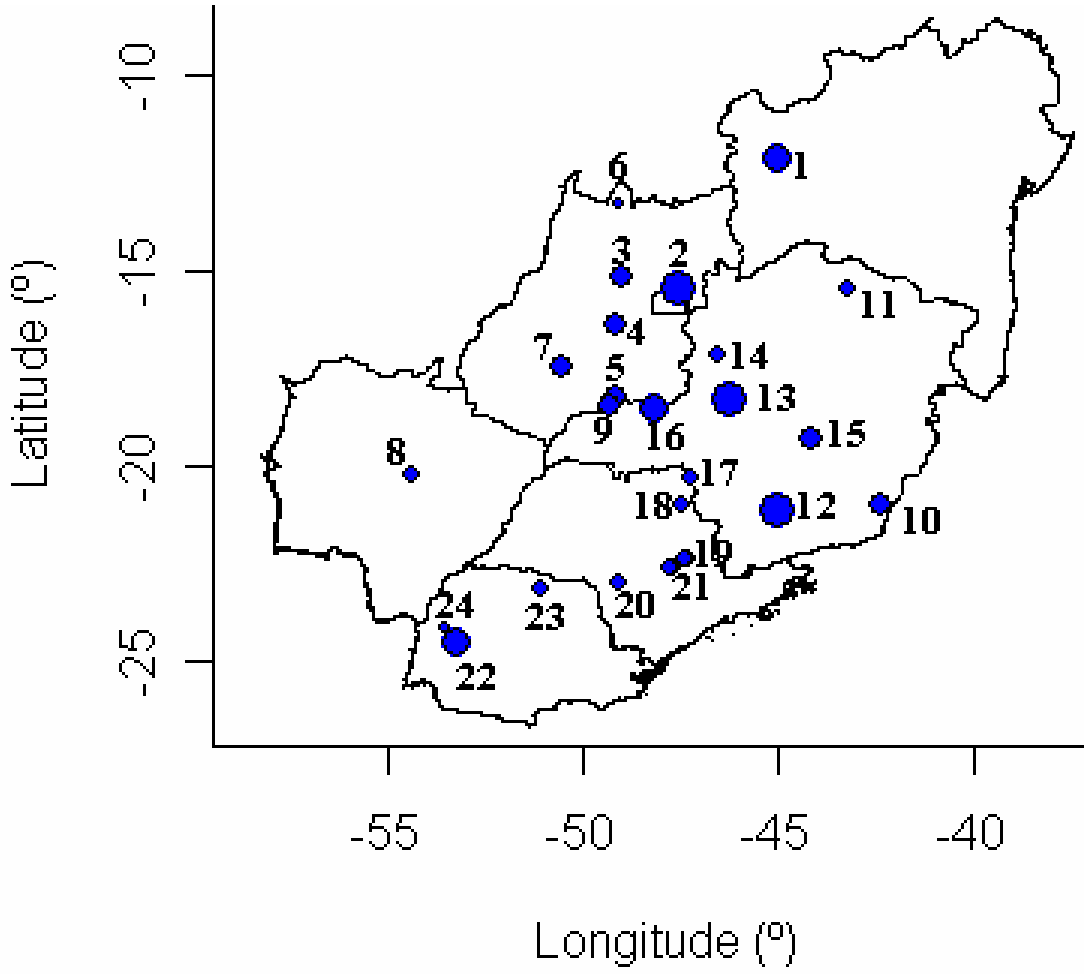
Para a determinação do período de avaliação do modelo de cultura e da previsão climática gerada pelo modelo Eta, considerando-se a possibilidade da influência do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) sobre os parâmetros atmosféricos da região Centro-Sul do Brasil (ALFONSI, 1991; INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2005a), optou-se pela sua ocorrência significativa mais recente do ENOS entre os anos de 1997 e 1998 (Figura 9). Como o fenômeno *La Niña* também pode afetar as condições atmosféricas na região Centro-Sul do Brasil, considerou-se o ano de 1999, classificado como *La Niña* forte; como referência, foram levados em conta os anos de 2001 e 2002, classificados como neutros (INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2005a). Assim, optou-se pelo período compreendido entre os dias 15 de Junho de 1997 e 15 de Junho de 2002.

Quanto aos dados dos parâmetros atmosféricos diários, Assis (2004) e Figueredo Júnior (2004) já comentavam sobre a escassez e a dificuldade na obtenção de informações sistematizadas, especialmente para a região Centro-Oeste do Brasil. Após consulta ao banco de dados do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO, 2005), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), foram identificadas as localidades da região Centro-Sul do Brasil que dispunham de informações diárias de chuva, umidade relativa do ar, radiação líqüida e temperatura do ar. Para a superfície do solo, verificou-se que raras eram as localidades que dispunham dessa informação, razão pela qual o parâmetro não foi considerado na avaliação da previsão realizada pelo modelo Eta.

Comparando-se os locais que dispunham de dados dos parâmetros atmosféricos diários de chuva, umidade relativa do ar, radiação e temperatura do ar indicados e, concomitantemente, de informações sobre a data da semeadura, a data do florescimento feminino, a data da colheita e o peso de grãos no Ensaio Nacional de Cultivares de Milho, ciclo precoce e safra normal, na região Centro-Sul do Brasil (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2005b) no período entre os dias 15 de Junho de 1997 a 15 de Junho de 2002, optou-se pelos locais indicados na Tabela 3 e Figura 14 para a avaliação: i) dos efeitos do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul sobre os parâmetros climáticos regionais; ii) da previsão climática gerada pelo modelo Eta; e iii) da estimativa e da previsão do rendimento de grãos gerados pelo modelo de cultura.

Para melhor compreensão, os materiais e métodos empregados nesta tese foram subdivididos nos seguintes tópicos: i) efeitos locais do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) na região Centro-Sul do Brasil, ii) acurácia dos parâmetros climáticos gerados pelo modelo Eta,

iii) desenvolvimento de um modelo de cultura para milho, e iv) avaliação dos rendimentos de grãos de milho estimados e previstos pelo modelo de cultura, conforme descritos a seguir.



○ **Diâmetro representativo de 1.000 m**

Figura 14 – Distribuição espacial dos locais de verificação dos efeitos do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS), de avaliação dos parâmetros atmosféricos gerados pelo modelo Eta e dos rendimentos de grãos de milho estimados pelo modelo de cultura Os diâmetros das legendas são proporcionais à altitude do local

Tabela 3 – Latitude (Lat, º S), longitude (Long, º W), altitude (m) e disponibilidade de ensaios de rendimento de grãos de milho (*) nos locais considerados para análise da estimativa e da previsão do rendimento de grãos de milho

UF	Local	Lat.	Long.	Altitude	SAFRAS				
		(º S)	(º W)	(m)	97_98	98_99	99_00	00_01	01_02
BA	Barreiras (1)	12,09	45,01	800		**O**	**O**	**O**	
DF	Brasília (2)	15,47	47,56	1.000		**O**	**O**	**O**	**O**
GO	Goianésia (3)	15,13	49	640			**O**		**O**
	Goiânia (4)	16,4	49,15	749		**O**	**O**	**O**	**O**
	Itumbiara (5)	18,25	49,13	420	**O**	**O**	**O**	**O**	
	Porangatu (6)	13,27	49,1	396		**O**	**O**	**O**	**O**
	Rio Verde (7)	17,48	50,55	715		**O**	**O**		
MS	Campo Grande (8)	20,26	54,43	484		**O**			**O**
MG	Capinópolis (9)	18,43	49,43	620	**O**	**O**	**O**	**O**	
	Janaúba (10)	15,47	43,18	530			**O**		
	Lavras (11)	21,14	45	940	**O**	**O**	**O**	**O**	
	Paracatu (12)	17,13	46,52	687	**O**			**O**	
	Patos de Minas (13)	18,31	46,26	900		**O**	**O**	**O**	**O**
	Sete Lagoas (14)	19,28	44,15	740		**O**	**O**	**O**	**O**
	Uberlândia (15)	18,55	48,15	830		**O**	**O**	**O**	**O**
	Viçosa (16)	21,02	42,33	720		**O**	**O**	**O**	**O**
SP	Cravinhos (17)	21,01	47,46	590	**O**	**O**	**O**		
	Guaíra (18)	20,33	47,26	450		**O**	**O**	**O**	**O**
	Limeira (19)	22,37	47,32	560		**O**	**O**	**O**	**O**
	Manduri (20)	23,02	49,1	590		**O**	**O**	**O**	**O**
	Piracicaba (21)	22,43	47,38	547	**O**	**O**	**O**	**O**	
PR	Cascavel (22)	24,56	53,26	760	**O**	**O**	**O**		**O**
	Londrina (23)	23,19	51,08	630		**O**		**O**	**O**
	Palotina (24)	24,18	53,55	333				**O**	

3.1 *El niño* Oscilação Sul (ENOS) na região Centro-Sul do Brasil

Conforme destacado no tópico 2.1.4, a ocorrência do fenômeno *El Niño*, bem como de seu oposto, o fenômeno *La Niña*, ambos indicados pelo Índice de Oscilação Sul (Figura 9), resulta em alterações marcantes das condições atmosféricas em extensas regiões da Terra (Figura 11). Essas ocorrências têm suscitando estudos procurando relacionar as variações do Índice de Oscilação Sul (IOS) às condições atmosféricas, no intuito da previsão climática em períodos análogos, bem como das possíveis implicações sobre o setor agrícola, notadamente a previsão do rendimento e da produção agrícolas em uma determinada região.

O estabelecimento da relação entre o *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) e as condições atmosféricas tem sido bem-sucedido em algumas regiões da Terra, especialmente na Austrália (MAIA; MAINKE, 2006; MEINKE; HAMMER, 1997), ou mesmo na região Nordeste do Brasil (MOURA, 1994; ALVES; REPELLI, 1992). Contudo, como atestam as citações de Santos (1993), em outras regiões os efeitos do ENOS sofrem interações com outras condicionantes atmosféricas citadas por Cruz (2001), o que implica que esse fenômeno parece não ser fator determinante no clima dessas regiões, prejudicando previsões climáticas com base no ENOS. Algumas citações de Instituto de Pesquisas Espaciais (2005a), além de Kayano e Moura (1986), Kayano e Kousky (1992), Kousky e Cavalcanti (1984) e Rao Hada (1990), indicam que o efeito do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul está relacionado ao aumento das chuvas, fato não verificado consistentemente na zona tropical da região Centro-Sul do Brasil.

Considerando que o regime de chuvas local pode ser influenciado pelo fenômeno *El Niño* Oscilação Sul, neste trabalho verificou-se a consistência entre suas variações e a dos regimes de chuvas nos locais indicados na Figura 14.

As distribuições freqüentemente são apresentadas como funções de distribuição cumulativas, ou como a probabilidade de exceder essas funções, de modo a representar a informação probabilística de uma série temporal. Para a avaliação da habilidade de previsão, uma hipótese estatística serve a dois propósitos: i) estabelecer significância para ajudar na determinação das ligações causais entre sistemas de classificação e a quantidade de previsão; e ii) quantificar a intensidade do sinal no sistema de previsão, considerando como intensidade do sinal a contribuição do sistema de classificação para a variabilidade global da variável de resposta, a exemplo de parâmetros atmosféricos (MAIA; MEINKE, 2006).

Vários são os procedimentos estatísticos para quantificar a intensidade do sinal que surge das diferentes classes das funções de distribuição. Testes paramétricos requerem suposições sobre a natureza da distribuição de cada estrato; assim, devem ser realizadas análises exploratórias para verificar se tais suposições foram violadas. Os procedimentos não-paramétricos têm a vantagem de não exigir conhecimento anterior sobre a natureza da distribuição; deste modo, para quantificar o efeito de segregação global é necessário apenas testar a hipótese nula de que a distribuição condicional originou-se da mesma população que a distribuição incondicional (CAMPOS, 1983).

Muitos são os procedimentos para se testar tal hipótese, destacando-se o teste de Kruskul-Wallis, o qual pode ser usado tanto para dados agrupados quanto para dados individuais. Nos dados agrupados não há restrição quanto ao número nem ao valor das classes, pois o teste é baseado no módulo da maior diferença entre a variável observada e a mediana do conjunto, o que evita a cumulatividade de erros (CAMPOS, 1983).

Uma questão fundamental na aplicação desses testes é a escolha arbitrária da significação; assim, Mai et al. (2006) e Maia, Meinke e Lennox (2005) sugerem a quantificação da intensidade do sinal do sistema de previsão, a exemplo de valores p associados à estatística do teste correspondente. O valor p varia de 0 a 1, sendo que baixos valores p indicam alta intensidade do sinal.

Nesse caso, empregando-se o teste de Kruskul-Wallis disponível no sistema estatístico SAS (SAS, 1998), foram determinadas as intensidades dos sinais, expressas pelo valor p, entre as precipitações pluviais locais e as variações do ENOS. Conforme proposto por Maia, Meinke e Lennox (2005), foram considerados sinais altamente significativos aqueles em que o valor p era menor ou igual a 0,10, significativos aqueles em que o valor p variou entre 0,11 e 0,21, muito pouco significativos aqueles em que o valor p variou entre 0,21 e 0,50 e não significativos aqueles cujo valor p foi maior que 0,50.

Foram levadas em consideração as precipitações pluviais acumuladas mensais entre os anos de 1961 e 2000 - fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) nos locais indicados na Figura 14 - e, para o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS), foram computadas as classes apresentadas na Tabela 4. Para tanto, foram acatadas as diferenças médias trimestrais das temperaturas sobre a superfície do Oceano na região entre as latitudes 5ºN e 5ºS e as longitudes 120ºW e 170ºW, denominada região *El Niño* 3.4, disponíveis em National Weather Service (2005). Portanto, o índice para o mês de Janeiro foi composto da média entre as diferenças

verificadas nos meses de Dezembro a Fevereiro, e assim sucessivamente. Esse procedimento de médias móveis é recomendável em razão do lapso do período de ocorrência do fenômeno ENOS e seu efeito na atmosfera.

Dada a exigüidade de informações sobre o regime de chuvas mensal, 40 anos, os índices das diferenças de temperatura disponíveis em National Weather Service (2005) foram agrupados em três classes: i) *La Niña* (LN), quando o índice era menor que - 0,5 ºC, ii) Neutro, quando o índice estava entre -0,5 e 0,5 ºC, e iii) *El Niño* (EN), quando o índice era maior 0,5 (Tabela 4).

Após a determinação do valor p para os diferentes locais entre os meses de Janeiro a Dezembro, foram selecionados aqueles inferiores a 0,20, indicando os meses em cada localidade considerada na qual o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) apresenta alguma relação com a distribuição de chuvas.

A seguir, para os meses e locais com valor p inferior a 0,20, foram determinadas as diferenças absolutas entre a precipitação pluvial mensal acumulada e a mediana das precipitações pluviais mensais acumuladas entre 1960 e 2000, sendo o quociente entre a diferença e a mediana mensal denominado diferença relativa da mediana.

Embora as variações no regime de chuvas de um dado local em função do Índice de Oscilação Sul (IOS) sejam conseqüência de vários fatores, notadamente a localização geográfica, para efeito de análise considerou-se relação direta entre o IOS e a variação na precipitação pluvial local. Assim, com o objetivo de caracterizar a variação sazonal da precipitação pluvial e, conseqüentemente, a existência de regimes pluviométricos distintos, foram relacionadas às classes ENSO as diferenças relativas da mediana, admitindo-se que em anos de *El Niño* ou de *La Niña* o desvio da precipitação pluvial pode ser positivo ou negativo indistintamente em função da localização geográfica, enquanto em nos anos neutros é nulo.

Com base nos valores p, nas diferenças relativas das medianas e nas relações entre as freqüências das diferenças relativas das medianas e as classes *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) foram discutidas as implicações do fenômeno ENSO sobre o clima local, bem como a possibilidade da previsão diária do clima local, levando-se em conta séries históricas de precipitação e as variações no Índice de Oscilação Sul.

Tabela 4 – Classificação mensal dos fenômenos *El Niño* (EN), *La Niña* (LN) e neutros (Neutro) entre os anos de 1960 e 2000

(continua)

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1960	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1961	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	LN	LN	Neutro	Neutro
1962	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	LN	LN	LN
1963	LN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	EN	EN	EN	EN	EN	EN
1964	EN	Neutro	Neutro	Neutro	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
1965	LN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
1966	EN	EN	EN	EN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1967	Neutro	Neutro	LN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	LN
1968	LN	LN	LN	LN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	EN	EN
1969	EN	EN	EN	EN	EN	Neutro	Neutro	Neutro	EN	EN	EN	EN
1970	EN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	LN	LN	LN	LN	LN	LN
1971	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
1972	LN	Neutro	Neutro	Neutro	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
1973	EN	EN	EN	Neutro	Neutro	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
1974	LN	LN	LN	LN	LN	LN	Neutro	Neutro	Neutro	LN	LN	LN
1975	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
1976	LN	LN	LN	LN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	EN	EN	EN	EN
1977	EN	EN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	EN	EN	EN	EN
1978	EN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1979	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	EN	EN
1980	EN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1981	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1982	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN

Tabela 4 – Classificação mensal dos fenômenos *El Niño* (EN), *La Niña* (LN) e neutros (Neutro) entre os anos de 1960 e 2000

(conclusão)

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1983	EN	EN	EN	EN	EN	EN	Neutro	Neutro	Neutro	LN	LN	LN
1984	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	LN	LN	LN
1985	LN	LN	LN	LN	LN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1986	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	EN	EN	EN	EN	EN
1987	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
1988	EN	EN	Neutro	Neutro	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
1989	LN	LN	LN	LN	LN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1987	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
1988	EN	EN	Neutro	Neutro	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
1989	LN	LN	LN	LN	LN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1990	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1991	EN	Neutro	Neutro	Neutro	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
1992	EN	EN	EN	EN	EN	EN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1993	Neutro	Neutro	EN	EN	EN	EN	EN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1994	Neutro	Neutro	Neutro	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EM	EN	EN
1995	EN	EN	EN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	LN	LN	LN
1996	LN	LN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro
1997	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	EN	EN	EN	EN	EN	EM	EN	EN
1998	EN	EN	EN	EN	Neutro	Neutro	LN	LN	LN	LN	LN	LN
1999	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
2000	LN	LN	LN	LN	LN	LN	Neutro	Neutro	Neutro	Neutro	LN	LN

Fonte: National Weather Service (2005).

3.2 Parâmetros climáticos previstos pelo modelo Eta

Conforme destacado no tópico 2.1.5, o modelo Eta originalmente proposto sofreu alterações, destacando-se aí a previsão de nuvens (ZHAO; BLACK; BALDWIN, 1997) e a substituição da topografia de 10", aproximadamente 20 km, por dados de elevação regularmente espaçados a cada 30", aproximadamente um kilometro, o que, a princípio, permite previsões de parâmetros atmosféricos mais acuradas em um período maior que dez dias.

Além dos parâmetros internos ao modelo alterados pelos pesquisadores do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), considerou-se o período de 90 dias para inicialização do modelo, o qual realizou previsões para o período entre as 12:00 horas do dia 15 de Junho de 1997 até às 12:00 do dia 15 de Abril de 2002. A condição inicial para o Eta foi proveniente do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e as condições de contorno lateral, atualizadas a cada 6 horas, das previsões do modelo global do CPTEC (MESINGER, THOMAS; WARD, 1990).

As previsões foram realizadas para 38 camadas verticais, no domínio compreendido entre as coordenadas geográficas 5ºS a 30ºS e 40ºW a 60ºW e dispostas em uma grade regular com resolução de 40 km. Ainda, as previsões foram realizadas com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência, ou seja, para a primeira previsão, as 12:00 horas do dia 16 de Julho de 1997, foram realizadas quatro previsões contadas a partir das 12:00 horas dos dias 16 de Junho de 1997, 17 de Maio de 1997, 17 de Abril de 1997 e 18 de Março de 1997, respectivamente.

O pós-processamento dos valores, ou seja, o tratamento e a espacialização do conjunto de dados, foi realizada com emprego do sistema computacional *Grid Analysis and Display System* (IGS, 2005), sendo selecionados os parâmetros atmosféricos de precipitação pluvial (Precipitação pluvial, mm), umidade relativa do ar (UR, %), radiação incidente (Rad, $W.m^{-2}$), temperatura do ar (TempAr, K) e temperatura na superfície do solo (TempSuper, K) previstos nas células correspondentes às coordenadas geográficas dos locais apresentados na Tabela 3.

As unidades de radiação e temperatura foram convertidas para $J.m^{-2}.s^{-1}$ e graus Celsius por: i) $W.m^{-2} = J.m^{-2}.s^{-1}$ e ii) ºC = K - 273,15.

Como o modelo Eta gera parâmetros atmosféricos a intervalos de seis horas, com emprego do sistema estatístico SAS (SAS, 1998) foram somadas as quatro estimativas de precipitações pluviais e radiações diárias para a obtenção da precipitação pluvial e a radiação diárias estimadas, respectivamente. Para a umidade relativa do ar considerou-se a média das estimativas às 0:00,

6:00, 12:00 e 18:00, enquanto que para as temperaturas do ar e da superfície do solo foram tidas em conta as maiores e menores estimativas diárias como as temperaturas máxima e mínima, respectivamente.

Para a verificação da acurácia dos parâmetros climáticos estimados pelo modelo Eta, os valores estimados de radiação incidente, precipitação pluvial, temperaturas máxima e mínima do ar e da superfície do solo, além da umidade relativa do ar, foram comparados aos respectivos valores medidos pelo Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), o Centro Nacional de Arroz e Feijão (CNPAF), ambos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC), o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o Sistema Meteorológico de Goiás (SIMEGO), o Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV), apresentados na Tabela 5.

A comparação ideal entre os parâmetros atmosféricos estimados e os medidos requer a obtenção de várias estimativas dos parâmetros atmosféricos, o que permitiria estimar a probabilidade de acerto das previsões geradas pelo modelo Eta. Entretanto, a geração para um ano de um conjunto de parâmetros atmosféricos compreendendo radiação incidente, precipitação pluvial, temperatura do ar, temperatura da superfície do solo e umidade relativa do ar demandou, aproximadamente, 96 horas de processamento nos supercomputadores do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), o que inviabilizou a obtenção de repetições das previsões geradas pelo Eta e, conseqüentemente, tratamento estatístico adequado aos resultados.

Calculou-se a mediana e a amplitude das variações em relação à média para o conjunto de medidas e previsões entre os dias 16 de Julho de 1997 e 15 de Junho de 2002 como análise exploratória das previsões geradas pelo modelo Eta.

Também foi calculada a razão entre os valores previstos pelo Eta e os respectivos valores medidos entre os dias 16 de Julho de 1997 e 15 de Junho de 2002, denominada diferença relativa entre os valores estimados e os medidos. Para tanto foram calculadas as diferenças relativas entre os valores diários dos parâmetros atmosféricos previstos pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência em relação aos respectivos valores medidos nos locais indicados na Tabela 3,

determinando-se assim a acurácia dessas previsões climáticas com até 120 dias de antecedência, em intervalos regulares de 30 dias.

Em razão da carência de critérios para classificação da precisão das previsões de parâmetros atmosféricos comentada por Maia et al. (2006), Maia e Meinke (2006), Maia, Meinke e Lennox (2005) e Mesinger (2000), as diferenças relativas foram, arbitrariamente, agrupadas em: i) subestimadas, aquelas com valores inferiores à 0,69; ii) pouco subestimadas, aquelas com valores entre 0,70 a 0,89; iii) não significativas, aquelas com valores entre 0,90 e 1,09; iv) pouco superestimadas, aquelas com valores entre 1,10 e 1,29; e v) superestimadas, aquelas com valores maiores que 1,30.

Considerando que as diferenças relativas diárias apresentaram valores elevados, que o objetivo principal desse trabalho é a utilização da previsão climática do modelo Eta para estimativa do rendimento de grãos de milho e que, segundo Agritempo (2005), Assis (2204), Duarte e Paterniani (2000), Fancelli e Dourado Neto (2000) e Magalhães e Paiva (1993), a cultura de milho suporta períodos de estiagem de dez dias, de modo semelhante à diferença relativa diária, calculou-se a diferença relativa entre a média móvel com intervalo de cinco dias para os valores medidos e os respectivos valores médios dos parâmetros climáticos estimados pelo modelo Eta.

Nos locais em que não se dispunha de medidas de radiação, esta foi estimada pelo conjunto de equações (1) a (6), apresentadas a seguir.

Segundo Vianello e Alves (2000), é possível estimar o fotoperíodo diário ($FotDia_i$, hora) pela eq. (1), o qual depende da declinação solar local (δ, º), apresentada na eq. (2), em um dado dia i do calendário Juliano variando entre um e 365 e uma dada latitude (Lat, ºS). Rad é a conversão do ângulo em radianos para graus, ou seja, é igual à razão entre a constante π e 180[3].

$$FotDia_i = \frac{24}{\pi} * ArcCos[-Tan(Lat * Rad) * Tan(\delta_i * Rad)] \quad (1)$$

$$\delta_i = 23{,}45 * Sen\left[\frac{360}{365} * (284 + i) * Rad\right] \quad (2)$$

A partir do fotoperíodo ($FotDia_i$, hora), de um dado dia i no calendário Juliano, é possível estimar o ângulo horário do sol poente ($WPoente_i$, º) por:

---

[3] $Rad = \frac{\pi}{180}$

$$WPoente_i = \frac{15 * FotDia_i}{2} \tag{3}$$

O total de radiação incidente sobre um determinado local (Q_{0_i}, J.cm^{-2}.dia^{-1}) em um dia i do calendário Juliano é estimada por

$$\begin{aligned} Q_{0i} = 37{,}586 * Dr_i * (QPoente_i * Sen(Lat * Rad) * Sen(\delta_i * Rad) + \\ + Cos(Lat * Rad) * Sen(WPoente_i * Rad) \end{aligned} \tag{4}$$

em função da distância relativa da terra ao sol (Dr_i), a qual varia segundo o dia i do calendário Juliano e é estimada pela eq. (5).

$$Dr_i = 1 + 0{,}033 * Cos\left(\frac{2\pi * i}{365}\right) \tag{5}$$

Considerando a insolação (Insolação, horas) desse dia i, a radiação liquida incidente em um dado local (Rs_i, J.cm^{-2}.dia^{-1}), pode ser estimada pela eq. (6).

$$Rs_i = Q_{0_i} * \left(0{,}29 * Cos(Lat * Rad) + \frac{2 * Insolacao_i}{FotDia_i}\right) \tag{6}$$

Em razão da impossibilidade de medição em todos os locais, a temperatura da superfície do solo e a radiação estimadas pelo Eta não foram avaliadas, assim como a umidade relativa do ar em razão do volume de trabalho para o processamento dos dados e a exigüidade de tempo.

Em Porangatu, Estado de Goiás, a série dos parâmetros diários requeridos (insolação, precipitação pluvial, temperatura do ar e umidade relativa do ar) teve início no dia 1° de Julho de 1999; em Janaúba, Estado de Minas Gerais, a série de foi interrompida entre os dias 1º de Agosto de 1998 a 30 de Novembro de 1998, implicando que nos períodos faltantes não foi realizada análise de acurácia do modelo Eta nesses locais.

Tabela 5 – Disponibilidade, segundo os 24 locais considerados da Região Centro-Sul, dos parâmetros climáticos medidos de radiação (Rad, $J.m^{-2}.s^{-1}$), precipitação pluvial (Prec, mm), temperaturas máxima e mínima do ar (TAr, ºC) e da superfície do solo (TSup, ºC), umidade relativa do ar (UR, %) e instituições responsáveis pela medição

UF	Local	Parâmetros climáticos					Instituição
		Rad	Prec	TAr	TSup	UR	
BA	Barreiras		O	O	O	O	INMET
DF	Brasília		O	O	O	O	INMET
GO	Goianésia		O	O		O	INMET
	Goiânia	O	O	O		O	CNPAF
	Itumbiara		O	O		O	INMET
	Porangatu*		O	O		O	SIMEGO
	Rio Verde		O	O	O	O	INMET
MS	Campo Grande		O	O	O	O	INMET
MG	Capinópolis		O	O		O	INMET
	Viçosa		O	O		O	UFV
	Janaúba**		O	O		O	INMET
	Lavras		O	O		O	UFLA
	Patos de Minas		O	O		O	INMET
	Paracatu		O	O		O	INMET
	Sete Lagoas		O	O		O	CNPMS
	Uberlândia		O	O		O	INMET
SP	Guaíra		O	O		O	IAC
	Cravinhos		O	O		O	IAC
	Limeira		O	O		O	IAC
	Manduri		O	O		O	IAC
	Piracicaba	O	O	O		O	ESALQ
PR	Cascavel	O	O	O	O	O	SIMEPAR
	Londrina	O	O	O	O	O	SIMEPAR
	Palotina	O	O	O	O	O	SIMEPAR

* Medidas disponíveis após 1/7/1999.

** Medidas ausentes entre 1/8/1998 a 30/11/1998.

3.3 Modelo de Cultura para milho

A produção dos vegetais depende de fatores bióticos e abióticos da oferta ambiental; assim, modelos de estimativa da produção vegetal devem primariamente considerar a produção biológica máxima, denominada produção em $kg.ha^{-1}$, aplicando a seguir as restrições referentes aos fatores da oferta ambiental, a exemplo da disponibilidade hídrica e/ou nutricional, para a estimativa da produção atual das partes de interesse econômico, denominada rendimento em $kg.ha^{-1}$ (GIFFORD; EVANS, 1981).

No caso do milho, por tratar-se de planta C4 com reduzida sensibilidade ao fotoperíodo, os principais determinantes abióticos da produtividade são a radiação e a temperatura, além das disponibilidades de nutrientes, CO_2 e água (VIEIRA JUNIOR, 1999). Segundo Vieira Junior (1999), considerando que a variação do teor de CO_2 na atmosfera é insignificante à variação da produção da planta, é possível desconsiderá-lo nos modelos de cultura. Quanto à disponibilidade de água e de nutrientes, deve ser computada a produção da planta e a posterior aplicação de coeficientes de restrição, sendo, no caso da água, aplicado na estimativa da produção de fotoassimilados.

A partir do exposto e tomando-se por base um modelo de cultura apresentado por Driessen e Konijn (1992), para a estimativa da produção da planta de milho foram considerados: i) parâmetros geográficos de latitude e altitude do local; ii) parâmetros meteorológicos diários das temperaturas máxima (T_{Max_i}, ºC) e mínima (T_{Min_i}, ºC) e da radiação líqüida (Rad_i, $J.m^{-2}.dia^{-1}$); iii) parâmetros fisiológicos da planta de milho, apresentados na Tabela 7; e o iv) Desenvolvimento Relativo da Planta, apresentado na Tabela 8.

Para a estimativa do coeficiente de restrição hídrico diário (kh_i), além dos fatores atmosféricos citados, foram considerados a precipitação pluvial diária ($Prec_i$, $cm.dia^{-1}$) e a umidade relativa do ar (UR_i), além dos teores de areia (Areia, %), silte (Silte, %), argila (Argila, %) e carbono (Carbono, %) presentes no solo.

Com o propósito de facilitar as estimativas necessárias, foram desenvolvidos algoritmos no sistema computacional Visual Basic®, versão 6.0, divididos nos seguintes módulos: i) dados e estimativa dos parâmetros referentes ao solo; ii) dados e estimativa dos parâmetros climáticos; iii) dados e estimativa dos parâmetros da planta; iv) estimativa dos desenvolvimentos relativos da cultura; v) estimativa da produção e do rendimento de grãos; e vi) estimativa do coeficiente hídrico, descritos nos tópicos a seguir.

3.3.1 Dados e estimativa dos parâmetros referentes ao solo

Do ponto de vista agronômico, o solo pode ser caracterizado através de sua classe pedológica, de análises de perfis, físicas e de fertilidade; entretanto, para a produção vegetal, o solo, dentre os fatores abióticos, é importante para a nutrição e o suprimento hídrico da cultura.

Para o suprimento hídrico, é preciso levar em conta que o solo é composto das fases sólida, líqüida e gasosa; é necessário ainda conhecer algumas das propriedades físicas do solo, destacando-se a densidade global ou aparente, a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente e a curva característica de retenção de água. Outros parâmetros, não menos importantes e que determinam as propriedades físicas citadas, são a textura, a densidade da fração sólida, a condutividade hidráulica saturada, a taxa de infiltração básica e a porosidade total. Esses parâmetros, em conjunto, determinam o potencial da água no solo, ou seja, o estado de energia da água no solo que, conseqüentemente interferindo no estado de energia da água na planta, governa todos os processos de transporte de água no sistema solo–planta–atmosfera (COUTO; SANS, 2002).

Uma forma usual de representação das características físico-hídricas de um solo é a curva característica de retenção de umidade, ou curva de retenção de água, a qual relaciona o conteúdo volumétrico de água (Θ, $cm^3.cm^{-3}$) e o potencial matricial (ψ, cm) do solo. Como o próprio nome indica, a curva é típica para cada solo, variando de acordo com a classe textural, o conteúdo de matéria orgânica e o grau de compactação, entre outras propriedades físicas.

Em geral, a curva característica é determinada em laboratório, de preferência em amostras não deformadas (COUTO; SANS, 2002); entretanto, Tomasella e Hodnett (2205) propuseram e validaram com sucesso algumas equações matemáticas, conhecidas como Equações de Pedotransferência, e que foram adotadas nesta tese, para a estimativa da umidade (Θ, $cm^3.cm^{-3}$) em solos tropicais submetidos às tensões de zero, seis, 10, 33, 100 e 1500 centímetros, levando em conta algumas propriedades físicas do solo. Para tanto, são considerados os teores no solo das frações de areia grossa (AG, %), areia fina (AF, %), silte (Si, %), argila (Ar, %), carbono da matéria orgânica (CO, $g.kg^{-1}$). Também podem ser consideradas a densidade global (DG, $g.cm^{-3}$) e a umidade equivalente (UE, $cm^3.cm^{-3}$) do solo, entendendo-se por umidade equivalente o teor de água retido em solo submetido à tensão de 33 centímetros.

Tomasella e Hodnett (2205) observam o seguinte conjunto de equações primárias:

$$no2 = -1{,}03818 + 0{,}0517224 * \mathrm{AG} \quad (7)$$

$$no3 = -1{,}09472 + 0{,}075148 * \mathrm{AF} \quad (8)$$

$$no4 = -1{,}13433 + 0{,}0653868 * \mathrm{Si} \quad (9)$$

$$no5 = -2{,}03922 + 0{,}0424768 * \mathrm{Ar} \quad (10)$$

$$no6 = -1{,}17748 + 1{,}10777 * \mathrm{CO} \quad (11)$$

$$no7 = -2{,}03454 + 8{,}15801 * \mathrm{UE} \quad (12)$$

$$no8 = -5{,}51031 + 4{,}40172 * \mathrm{DG} \quad (13)$$

quando se dispõe de todos os parâmetros citados, as umidades no solo para as tensões, em módulo, de zero (Θ_0, $cm^3.cm^{-3}$), seis (Θ_6, $cm^3.cm^{-3}$), 10 (Θ_{10}, $cm^3.cm^{-3}$), 33 (Θ_{33}, $cm^3.cm^{-3}$), 100 (Θ_{100}, $cm^3.cm^{-3}$) e 1500 (Θ_{1500}, $cm^3.cm^{-3}$) centímetros podem ser estimadas pelas equações (14) a (26) apresentadas a seguir.

Potencial 0 cm

$$no16 = -0{,}163987 * no2 + 0{,}0377279 * no2^2 - 0{,}0326506 * no6^2 - 0{,}879032 * no8 - \\ - 0{,}0430902 * no2 * no6 * no8 + 0{,}0245545 * no6 * no8^2 \quad (14)$$

$$\theta_0 = 0{,}527781 + 0{,}090768 * no16 \quad (15)$$

Potencial -6 cm

$$no17 = -0{,}223117 * no2 + 0{,}163857 * no4 + 0{,}191354 * no5 + 0{,}75372 * no7 + 0{,}31307 * no8 \quad (16)$$

$$no18 = 0{,}0952491 + 0.933962 * no17 + 0.0603539 * no6 - 0.0707795 * no17^2 * no8 + \\ + 0{,}0835065 * no6 * no8 + 0{,}0217158 * no6^2 * no8 - 0{,}0614736 * no8^2 + \\ + 0{,}0484917 * no6 * no8^2 + 0{,}0286605 * no8^3 \quad (17)$$

$$\theta_6 = 0{,}361333 + 0{,}117541 * no18 \quad (18)$$

Potencial -10 cm

$$no19 = 0{,}245403 + 0{,}118246 * no4 + 1{,}09683 * no7 - 0{,}139422 * no7^2 + 0{,}311947 * no8 - \\ - 0{,}0564414 * no7^2 * no8 - 0{,}112962 * no8^2 - 0{,}0401677 * no7 * no8^2 \quad (19)$$

$$\theta_{10} = 0{,}331933 + 0{,}119056 * no19 \quad (20)$$

Potencial -33 cm

$$no20 = 0,23104 + 1,32453 * no7 - 0,089556 * no7^2 - 0,0435457 * no7^3 + 0,45464 * no8 + \\ + 0,0910668 * no7 * no8 - 0,134699 * no7^2 * no8 - 0,0726279 * no8^2 - \\ - 0,118029 * no7 * no8^2 - 0,0284561 * no8^3 \quad (21)$$

$$\theta_{33} = 0,289072 + 0,112043 * no20 \quad (22)$$

Potencial -100 cm

$$no21 = 0,231749 + 1,27453 * no7 - 0,0850917 * no7^2 + 0,033513 * no6 * no7^2 - \\ - 0,0264282 * no7^3 + 0,389674 * no8 + 0,188547 * no7 * no8 - \\ - 0,0342277 * no7^2 * no8 - 0,029034 * no7 * no8^2 \quad (23)$$

$$\theta_{100} = 0,257606 + 0,102241 * no21 \quad (24)$$

Potencial -1500 cm

$$no22 = 0,219534 + 0,433151 * no5 - 0,180373 * no5^2 + 1,00687 * no7 + \\ + 0,248218 * no5 * no7 - 0,117501 * no7^2 - 0,157386 * no5 * no7^2 + \\ + 0,0425561 * no7^3 + 0,512979 * no8 - 0,0864058 * no5 * no8 - \\ - 0,0602617 * no5^2 * no8 + 0,221942 * no7 * no8 - 0,11294 * no5 * no7 * no8 - \\ - 0,0512229 * no7^2 * no8 - 0,0680959 * no5 * no8^2 - \\ - 0,104591 * no7 * no8^2 - 0,0588488 * no8^3 \quad (25)$$

$$\theta_{1500} = 0,211145 + 0,091731 * no22 \quad (26)$$

Quando não se dispõe da umidade equivalente, as umidades no solo para as tensões citadas podem ser estimadas pelas equações (27) a (42) apresentadas a seguir.

Potencial 0 cm

$$no16 = - 0,163987 * no2 + 0,0377279 * no2^2 - 0,0326506 * no6^2 - 0,879032 * no8 - \\ - 0,0430902 * no2 * \text{no6} * no8 + 0,0245545 * no6 * no8^2 \quad (27)$$

$$\theta_0 = 0,527781 + 0,090768 * no16 \quad (28)$$

Potencial -6 cm

$$no17 = 0{,}107556 + 0{,}623044 * no4 - 0{,}0981163 * no4^2 + 0{,}829515 * no5 - \\ - 0{,}080859 * no4 * no5 + 0{,}045491 * no4^2 * no5 + 0{,}139198 * no4 * no5^2 - \\ - 0{,}0965947 * no5^3 + 0{,}24593 * no8 - 0{,}153899 * no4^2 * no8 + 0{,}052458 * no5 * no8 - \\ - 0{,}0725859 * no5^2 * no8 - 0{,}160859 * no4 * no8^2 - 0{,}0275943 * no8^3 \quad (29)$$

$$no18 = 0{,}808233 * no17 - 0{,}148821 * no2 + 0{,}105914 * no6 + 0{,}0967398 * no2 * no6 + \\ + 0{,}0519809 * no6^2 - 0{,}0156049 * no6^3 \quad (30)$$

$$\theta_6 = 0{,}361333 + 0{,}117541 * no18 \quad (31)$$

Potencial -10 cm

$$no19 = 0{,}106169 + 0{,}623963 * no4 - 0{,}0313229 * no4^3 + 0{,}822419 * no5 + \\ + 0{,}0271143 * no4^2 * no5 + 0{,}168859 * no4 * no5^2 - 0{,}0681301 * no5^3 + \\ + 0{,}169307 * no8 - 0{,}162523 * no4^2 * no8 - 0{,}0788016 * no8^2 - \\ - 0{,}169365 * no4 * no8^2 - 0{,}049565 * no8^3 \quad (32)$$

$$\theta_{10} = 0{,}331933 + 0{,}119056 * no19 \quad (33)$$

Potencial -33 cm

$$no20 = 0{,}112651 + 0{,}637038 * no4 - 0{,}0304549 * no4^3 + 0{,}906256 * no5 + \\ + 0{,}028374 * no4^2 * no5 + 0{,}108142 * no4 * no5^2 - 0{,}0818142 * no5^3 + \\ + 0{,}189488 * no8 - 0{,}157179 * no4^2 * no8 + 0{,}0874131 * no5 * no8 - \\ - 0{,}0426875 * no8^2 - 0{,}197645 * no4 * no8^2 - 0{,}0484384 * no8^3 \quad (34)$$

$$no21 = 0{,}0654259 + 0{,}996313 * no20 - 0{,}0623653 * no20 * no6 + 0{,}10759 * no6^2 + \\ + 0{,}0480477 * no6^2 * no8 \quad (35)$$

$$\theta_{33} = 0{,}289072 + 0{,}112043 * no21 \quad (36)$$

Potencial -100 cm

$$no22 = 0{,}0816655 - 0{,}74016 * no2 - 0{,}149751 * no2^2 + 0{,}10227 * no2^3 - 0{,}437498 * no3 - \\ - 0{,}223728 * no4 - 0{,}360038 * no2 * no4 + 0{,}274728 * no2^2 * no4 - \\ - 0{,}180613 * no4^2 + 0{,}0154889 * no4^3 \quad (37)$$

$$no23 = 0{,}987006 * no22 - 0{,}0990541 * no22 * \mathrm{no6} + 0{,}104185 * no6^2 - \\ - 0{,}0457283 * no6 * no8 + 0{,}0549667 * no6^2 * no8 - 0{,}0483499 * no8^2 \quad (38)$$

$$\theta_{100} = 0{,}257606 + 0{,}102241 * no23 \quad (39)$$

Potencial -1500 cm

$$no24 = 0{,}0948357 - 0{,}729333 * no2 - 0{,}140788 * no2^2 + 0{,}0989443 * no2^3 - 0{,}45971 * no3 + \\ + 0{,}0367119 * no3^2 - 0{,}0431381 * no2 * no3^2 - 0{,}0273854 * no3^3 - 0{,}425486 * no4 - \\ - 0{,}358476 * no2 * no4 + 0{,}304408 * no2^2 * no4 - \\ - 0{,}0686334 * no3^2 * no4 - 0{,}17904 * no4^2 \quad (40)$$

$$no25 = - 0{,}122365 + 1{,}06653 * no24 + 0{,}132195 * no24^2 - 0{,}127867 * no24 * no6 + \\ + 0{,}161907 * no6^2 - 0{,}0203436 * no6^3 + 0{,}0720974 * no8 + \\ + 0{,}116741 * no24 * no8 + 0{,}0349786 * no6^2 * no8 \quad (41)$$

$$\theta_{1500} = 0{,}211145 + 0{,}091731 * no25 \quad (42)$$

Quando não se dispõe da densidade global e da umidade equivalente, as umidades no solo para as tensões de zero (Θ_0, $cm^3.cm^{-3}$), seis (Θ_6, $cm^3.cm^{-3}$), 10 (Θ_{10}, $cm^3.cm^{-3}$), 33 (Θ_{33}, $cm^3.cm^{-3}$), 100 (Θ_{100}, $cm^3.cm^{-3}$) e 1500 (Θ_{1500}, $cm^3.cm^{-3}$) centímetros podem ser estimadas pelas equações (43) a (56) apresentadas a seguir.

Potencial 0 cm

$$no17 = - 0{,}201331 - 0{,}691511 * no2 + 0{,}205729 * no2^2 - 0{,}582763 * no3 - \\ - 0{,}244219 * no2 * no3 + 0{,}0953098 * no3^2 + 0{,}132042 * no2 * no3^2 \quad (43)$$

$$no16 = 0{,}0735748 + 0{,}997436 * no17 - 0{,}0861638 * no17^2 - 0{,}206933 * no4 - \\ - 0{,}0599751 * no4^2 + 0{,}0475318 * no4^3 + 0{,}22419 * no6 + \\ + 0{,}0896749 * no17 * no6 - 0{,}227696 * no17^2 * no6 - 0{,}106788 * no4 * \mathrm{no}6 + \\ + 0{,}128084 * no17 * no4 * no6 + 0{,}0596604 * no4^2 * no6 - 0{,}0716957 * no6^2 - \\ - 0{,}0542829 * no4 * no6^2 + 0{,}0251497 * no6^3 \quad (44)$$

$$\theta_0 = 0{,}527781 + 0{,}090768 * no16 \quad (45)$$

Potencial -6 cm

$$no18 = 0{,}112955 - 0{,}633668 * no2 - 0{,}178281 * no2^2 + 0{,}0962615 * no2^3 - 0{,}384329 * no3 - \\ - 0{,}05882 * \mathrm{no}2 * no3^2 - 0{,}166838 * no4 - 0{,}258092 * no2 * no4 + \\ + 0{,}266077 * no2^2 * no4 - 0{,}19148 * no4^2 + 0{,}0522136 * no2 * no4^2 + \\ + 0{,}0777992 * no3 * no4^2 + 0{,}0790714 * no4^3 \quad (46)$$

$$no19 = 0{,}942818 * no18 + 0{,}110244 * no6 - 0{,}109711 * no5 * no6 + \\ + 0{,}0435205 * no6^2 - 0{,}0188827 * no6^3 \quad (47)$$

$$\theta_6 = 0{,}361333 + 0{,}117541 * no19 \quad (48)$$

Potencial -10 cm

$$no20 = 0{,}508845 * no4 + 0{,}778549 * no5 + 0{,}150528 * no4 * no5^2 - 0{,}0459827 * no5^3 \quad (49)$$

$$\theta_{10} = 0{,}331933 + 0{,}119056 * no20 \quad (50)$$

Potencial -33 cm

$$no21 = 0{,}418708 * no4 - 0{,}0585172 * no4^2 + 0{,}0369353 * no4^3 + 0{,}798313 * no5 + \\ + 0{,}0633402 * no4^2 * no5 + 0{,}130197 * no4 * no5^2 - 0{,}0657153 * no5^3 - \\ - 0{,}122939 * no5 * no6 + 0{,}104464 * no6^2 - 0{,}0179915 * no6^3 \quad (51)$$

$$\theta_{33} = 0{,}289072 + 0{,}112043 * no21 \quad (52)$$

Potencial -100 cm

$$no22 = 0{,}0816655 - 0{,}740016 * no2 - 0{,}149751 * no2^2 + 0{,}10227 * no2^3 - 0{,}437498 * no3 - \\ - 0{,}223728 * no4 - 0{,}360038 * no2 * no4 + 0{,}274728 * no2^2 * no4 - \\ - 0{,}180613 * no4^2 + 0{,}0154889 * no4^3 \quad (53)$$

$$\theta_{100} = 0{,}257606 + 0{,}102241 \ * no22 \quad (54)$$

Potencial -1500 cm

$$no23 = 0{,}254819 * no4 - 0{,}0732678 * no4^2 + 0{,}0376498 * no4^3 + 0{,}856015 * no5 + \\ + 0{,}0965713 * no4 * no5 + 0{,}08497 * 4^2 * no5 + 0{,}103934 * \ no4 * no5^2 - \\ - 0{,}0309606 * no5^3 + 0{,}0788271 * no4 * no6 - 0{,}0198799 * no4^2 * no6 - \\ - 0{,}171539 * no5 * no6 + 0{,}143095 * no6^2 - 0{,}0456234 * no4 * no6^2 - 0{,}0230671 * no6^3 \quad (55)$$

$$\theta_{1500} = 0{,}211145 + 0{,}091731 \ * no23 \quad (56)$$

A partir dessas tensões e umidades é possível determinar a relação funcional que melhor descreve a curva de retenção. Vários são os trabalhos que procuram ajustar tal curva, destacando-se o de Genuchten (1980), que propõe um modelo matemático empírico em função do conhecimento desse fenômeno, utilizando como variável independente o módulo do potencial mátrico (ψ, cm), e como variável dependente a umidade do solo (Θ, $cm^3.cm^{-3}$).

Para a proposição do modelo, Genuchten (1980) assumiu que: i) a umidade de saturação (Θ_S, $cm^3.cm^{-3}$) de um solo corresponde ao potencial mátrico zero, ii) a função é estritamente decrescente e assíntota ao valor correspondente da umidade residual (Θ_R, $cm^3.cm^{-3}$) e iii) não existe ponte de inflexão. Assim,

$$\theta_i = \theta_R + \frac{\theta_s - \theta_R}{\left[1 + (\alpha * \psi_i)^n\right]^m} + \varepsilon_i \quad (57)$$

em que Θ_R e Θ_S são as umidades ($cm^3.cm^{-3}$), residual e de saturação, respectivamente, α, m e n são parâmetros empíricos determinados por análise de regressão não-linear e ε_i é o i-ésimo erro associado ao i-ésimo valor de umidade em base de volume (Θ_i, $cm^3.cm^{-3}$) correspondente ao i-ésimo valor do módulo do potencial mátrico (ψ_i, cm).

Genuchten (1980) observou que, para uma curva quase simétrica em forma de "S", a inclinação torna-se zero quando a umidade do solo aproxima-se tanto dos valores de saturação como residual, ou seja, nesses extremos o gradiente é aproximadamente zero, embora o autor

aponte que em alguns solos de textura muito fina uma diminuição significativa do potencial de água provavelmente resultará em adsorção de água. Tendo-se em mente que esses solos não ocorrem nas áreas de produção de milho da região Centro-Sul do Brasil, onde predominam latossolos e podzois, ou seja, solos de textura média, é possível inferir a aplicação do modelo de Genuchten (1980) sem maiores implicações de erro na estimativa da umidade dos solos em questão.

Assumindo que as umidades residual (Θ_R, $cm^3.cm^{-3}$) e de saturação (Θ_S, $cm^3.cm^{-3}$) correspondem aos potenciais mátricos de 1.500 e zero centímetros, respectivamente, Dourado Neto et al. (1990) propuseram estimar os parâmetros empíricos α, m e n minimizando a soma dos quadrados dos desvios em relação à umidade. Teoricamente, a condição de mínimo é determinada por:

$$\beta_1 = \frac{\partial SQD}{\partial \alpha}\Big|_{m,n} = 0 \tag{58}$$

$$\beta_2 = \frac{\partial SQD}{\partial m}\Big|_{\alpha,n} = 0 \tag{59}$$

$$\beta_3 = \frac{\partial SQD}{\partial n}\Big|_{\alpha,m} = 0 \tag{60}$$

$$\frac{\partial^2 SQD}{\partial \alpha^2}\Big|_{m,n} > 0 \tag{61}$$

$$\frac{\partial^2 SQD}{\partial m^2}\Big|_{\alpha,n} > 0 \tag{62}$$

$$\frac{\partial^2 SQD}{\partial n^2}\Big|_{\alpha,m} > 0 \tag{63}$$

sendo que

$$SQD = \sum_{i=1}^{k} (\theta_i - \hat{\theta}_i)^2 \tag{64}$$

em que SQD é a soma dos quadrados dos erros associados a estimativa dos k valores de umidade.

Dourado Neto et al. (1990) sugerem que os parâmetros sejam estimados pelo método interativo de Newton-Rapson pela resolução do sistema de equações gerado pelas expressões (58) a (60):

$$\begin{bmatrix} \alpha_{j+1} \\ m_{j+1} \\ n_{j+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_j \\ m_j \\ n_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \partial\beta_1/\partial\alpha & \partial\beta_2/\partial\alpha & \partial\beta_3/\partial\alpha \\ \partial\beta_1/\partial m & \partial\beta_2/\partial n & \partial\beta_3/\partial m \\ \partial\beta_1/\partial n & \partial\beta_2/\partial n & \partial\beta_3/\partial n \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix} \quad (65)$$

Os valores são estimados quando:

$$\begin{bmatrix} \alpha_{j+1} \\ m_{j+1} \\ n_{j+1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \alpha_j \\ m_j \\ n_j \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} \varepsilon_{\alpha_j} \\ \varepsilon_{m_j} \\ \varepsilon_{n_j} \end{bmatrix} \quad (66)$$

sendo que, nesse caso, considerou-se a estimativa dos parâmetros quando o valor dos parâmetros empíricos na (j+1)-ésima e a j-ésima interação for inferior a 10^{-7}. No sistema ε_α, ε_m e ε_n são os erros mínimos aceitos associados aos parâmetros empíricos α, m e n, respectivamente, os quais foram iniciados com os valores médios (α_0= 0,1015; m_0= 0, 5 e n_0= 2, 5) encontrados por Genuchten (1980).

Estimando-se os parâmetros empíricos da equação proposta por Genuchten (1980), é possível calcular as umidades diárias do solo, condição necessária para um modelo de cultura, a partir da variação diária do seu potencial mátrico; entretanto, para se conhecer a dinâmica completa da água no solo, é preciso saber suas condutividades hidráulicas, informação fundamental para qualquer modelagem do movimento da água no solo.

A determinação da condutividade hidráulica de um solo é tida como problemática, pois, além de modificar-se com a umidade, apresenta alta variabilidade espacial, tanto em determinações de campo quanto de laboratório. Esse fato é conseqüência de que a condutância dos poros individuais é sensível tanto ao seu diâmetro quanto à sua geometria: como o fluxo de água nos poros é proporcional à quarta potência do seu raio e a área da seção transversal de um poro é proporcional ao quadrado do seu raio, um poro mais longo com a mesma seção transversal de vários poros pequenos transmitirá mais água em razão do menor atrito ao longo da parede do poro (RADCLIFFE; RASMUSSEN, 1999).

Em geral, a condutividade hidráulica máxima ocorre no solo saturado, decrescendo segundo a redução da umidade, razão pela qual se expressa a condutividade hidráulica de um solo em relação à sua condutividade hidráulica (k0, cm.dia^{-1}) no ponto de saturação (Θs, cm^3.cm^{-3}). Contudo, como a umidade está relacionada diretamente às propriedades do solo que regem o potencial mátrico, é possível deduzir sua relação também com esse parâmetro (HURTADO,

2004). São vários os modelos propostos para a estimativa da condutividade hidráulica de um solo. Mualen (1976) os agrupou em: i) aqueles em que a condutividade hidráulica relativa é função da saturação efetiva, e ii) aqueles que consideram a curva de retenção da água no solo. Porém, o autor considerou que a umidade residual (Θ_R, $cm^3.cm^{-3}$) é condição necessária para a estimativa da condutividade hidráulica relativa em qualquer modelo. Mualen (1976) apresentou um modelo levando em conta que a configuração do poro consiste de elementos capilares cujos comprimentos são proporcionais aos seus raios, ou seja, um poro mais longo tem uma influência maior, pois, além da seção transversal, o comprimento do poro também é tomado em consideração. Calcado no pressuposto de Mualen (1976), Genuchten (1980) combinou a eq. (57) com a o modelo de Mualen (1976) e, considerando que

$$m = 1 - \frac{1}{n} \tag{67}$$

deduziu que a condutividade hidráulica relativa de um solo em função da sua umidade ($k\Theta$, $cm.dia^{-1}$) pode ser estimada por

$$k\theta = k0 * w^L * \left[1 - \left(1 - w^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \tag{68}$$

em que

$$w = \frac{\theta - \theta_R}{\theta_S - \theta_R} \tag{69}$$

onde w é a saturação efetiva, k0 é a condutividade hidráulica do solo saturado e L é um parâmetro empírico estimado por Mualen (1976) em 0,5 para a maioria dos solos.

Uma dificuldade é a informação de k0 para os diferentes solos, especialmente em se tratando de diferentes sistemas de manejo agrícola, os quais interferem diretamente com a condutividade hidráulica do solo. Em razão da dificuldade em se conhecer a condutividade hidráulica de um solo para a aplicação em modelos de cultura, Rijtema (1969) propôs uma classificação da condutividade hidráulica na umidade de saturação (k0, $cm.dia^{-1}$), apresentada na Tabela 6, considerando as umidades de residual (Θ_R, $cm^3.cm^{-3}$) e de saturação (Θ_S, $cm^3.cm^{-3}$) além da textura do solo. É preciso ter em mente os possíveis erros inerentes aos valores de k0 propostos por Rijtema (1969) para a utilização em modelos de cultura; entretanto, em razão da carência de informações sobre os solos brasileiros, em especial quanto às suas propriedades hidráulicas, optou-se por utilizar os valores de k0 apresentados na Tabela 6.

Ainda quanto à dinâmica da água no solo para um modelo de cultura, também é importante a infiltração da água no solo, que, segundo Rijtema (1969), é função da interação entre as forças da gravidade e matricial. Nesse caso, o autor sugere estimar a taxa de infiltração diária (Infiltração$_i$, cm.dia^{-1}) por:

$$Infiltracao_{\mathrm{i}} = \mathrm{S0} * \left(1 - \frac{\theta_i}{\mathrm{PG}}\right) * 1^{-0,5} + k_{In} \qquad (70)$$

em que S0 e k_{Tr} são parâmetros empíricos, apresentados na Tabela 6, relativos à sortividade e à permeabilidade do solo, respectivamente, θ refere-se à umidade em base de volume do solo no i-ésimo dia e PG refere-se à porosidade global do solo, a qual pode ser obtida pela diferença entre as umidades residual (θ_r, cm^3.cm^{-3}) e de saturação(θ_s, cm^3.cm^{-3}). Rijtema (1969) considera que os parâmetros S0 e K_{In} (Tabela 6) estão relacionados aos atributos físico-hídricos do solo, portanto, podem ser definidos em função de sua textura e de suas umidades residual (θ_R, cm^3.cm^{-3}) e de saturação(θ_S, cm^3.cm^{-3}).

Considerando as observações e reflexões acerca das relações entre as propriedades do solo e suas vinculações com a dinâmica da água, empregando-se as eq. (7) a (56), desenvolveu-se algoritmo para estimar as umidades em base de volume (Θ, cm^3.cm^{-3}) nas tensões de zero,-6,-10, -33, -100 e -1.500 centímetros a partir da densidade global (DG, cm^3.cm^{-3}), da umidade equivalente (UE, cm^3.cm^{-3}) e dos teores (%) de areia grossa, areia fina, silte, argila e carbono orgânico. Em um banco de dados sobre atributos dos solos brasileiros disponibilizado pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (COOPER et al., 2005), foram selecionados os parâmetros do solo necessários para os locais cujas coordenadas geográficas eram próximas às coordenadas geográficas dos locais citados na Tabela 3. Como eram raros os locais em que o banco de dados apresentava a densidade do solo e a umidade equivalente, optou-se por não utilizar esses parâmetros na determinação das funções de pedotransferência.

A partir dos valores de umidade e de potencial mátrico das curvas de pedotransferência e utilizando-se a metodologia proposta por Dourado Neto et al. (1990), desenvolveu-se outro algoritmo para definição dos parâmetros empíricos da equação proposta por Genuchten (1980), o que possibilitou a estimativa diária dos potenciais mátricos dos solos nos locais citados na Tabela 3, considerando suas variações de umidade diárias. Utilizando-se as eq. (67) a (69) e os parâmetros k0 propostos por Rijtema (1969) e apresentados na Tabela 6, foram desenvolvidos

algoritmos para a estimativa diária da condutividade hidráulica e da infiltração nos solos dos locais citados na Tabela 3.

Tabela 6 – Valores de condutividade hidráulica em solo saturado (k0, $cm.dia^{-1}$), sortividade (S0, $cm.dia^{-0,5}$) e taxa de infiltração (k_{In}, $cm.dia^{-1}$) relacionadas à textura (%) e as umidades residual (θ_r, $cm^3.cm^{-3}$) e de saturação (θ_s, $cm^3.cm^{-3}$) do solo

θ_r ($cm^3.cm^{-3}$)	θ_s ($cm^3.cm^{-3}$)	Textura (%)	k0 ($cm.dia^{-1}$)	S0 ($cm.dia^{-0,5}$)	k_{In} ($cm.dia^{-1}$)
≤ 0,0001	≥ 0,80	Independe	5,30	1,86	1,86
	< 0,80	Independe	23,50	19,05	16,51
> 0,00001 a < 0,05	≥ 0,55	Areia fina > 20 Silte > 2*Argila Argila < 20	12,00	17,57	9,36
		Silte ≥ 50 Argila ≥ 10 Argila ≤ 30	6,50	14,46	5,32
		Nenhum anterior	5,00	11,73	3,97
	≥ 0,45 a < 0,55	Areia ≥ 70 Areia ≤ 90 Areia grossa ≥ 25	26,50	19,20	30,33
		Nenhum anterior	14,50	13,05	8,88
	≥ 0,30 a < 0,45	Areia ≥ 85 Areia grossa ≥ 25	1.120,0	50,16	119,23
		Areia ≥ 85 Areia fina ≥ 50	50,00	21,44	17,80
		Nenhum anterior	8,00	12,00	8,00
≥ 0,05 a < 0,09			1,50	19,05	16,51
≥ 0,09 a < 0,10			0,98	4,70	0,76
≥ 0,01 a < 0,14			3,50	10,74	2,66
≥ 0,14 a < 0,20			1,30	3,98	0,80

Fonte: Rijtema (1969) e Veereken, Maes, Feyen e Darius (1976).

3.3.2 Dados e estimativa dos parâmetros climáticos

Para a estimativa da produção de uma planta, o principal processo a ser considerado é a assimilação, ou seja, a absorção e posterior redução do CO_2 atmosférico em fotoassimilado, desenvolvimento que depende, entre outros fatores, da radiação e da temperatura (TAIZ; ZEIGER, 2004), por sua vez dependentes da duração do fotoperíodo diário ($FotDia_i$, horas).

Segundo Vianello e Alves (2000), a partir do fotoperíodo ($FotDia_i$, hora) de um dado dia i no calendário Juliano, estimado pela eq. (1), é possível estimar o horário do sol nascente ($Nascente_i$, hora) e do sol poente ($Poente_i$, hora) por:

$$Nascente_i = 12 - \frac{FotDia_i}{2} \tag{71}$$

$$Poente_i = 12 + \frac{FotDia_i}{2} \tag{72}$$

Considerando que a assimilação é dependente da temperatura, Driessen e Konijn (1992) propõem a temperatura em 24 horas (T_{24_i}, ºC), a qual pode ser estimada em função do fotoperíodo (Dia_i, hora) e das temperaturas diurna (T_{Dia_i}, ºC) e noturna (T_{Noite_i}, ºC) de um dado dia i do calendário Juliano, conforme eq. (73).

$$T_{24_i} = \frac{T_{Dia_i} * FotDia_i * T_{Noite\,i} * (24 - FotDia_i)}{24} \tag{73}$$

A temperatura diurna (T_{Dia_i}, ºC) - resultado da integração das temperaturas durante o período diurno - de um dado dia i no calendário Juliano é estimada pela eq. (74), assumindo-se que a temperatura máxima diurna ocorre às 14:00 horas e a temperatura mínima diurna ocorre no pôr do sol. Nesse caso, considera-se a média ($T_{Média_i}$, ºC) e a amplitude média (AMT_i, ºC) das temperaturas no período, estimadas pelas eq. (75) e (76), respectivamente, além de um fator de correção dos horários de ocorrência desses eventos (Aux_i, hora), apresentado na eq. (77). Já a temperatura noturna (T_{Noite_i}, ºC) do dia é resultado da integração das temperaturas entre o poente e o nascente, e dada pela eq. (78) a seguir (GOUDRIAAN; van LARR, 1994).

$$T_{Dia\,i} = T_{Media_i} + \frac{(Nascente_i - 14) * AMT_i * Sen(Aux_i)}{FotDia_i * Aux_i} \tag{74}$$

$$T_{Media_i} = \frac{T_{Max_i} + T_{Min_i}}{2} \tag{75}$$

$$AMT_i = \frac{T_{Max_i} - T_{Min_i}}{2} \tag{76}$$

$$Aux_i = \frac{\pi * (Poente_i - 14)}{Nascente_i + 10} \tag{77}$$

$$T_{Noite_i} = T_{Media_i} - \frac{AMT_i * Sen(Aux_i)}{\pi * Aux_i} \tag{78}$$

Faz-se necessário considerar ainda que, no processo de assimilação, o transporte do CO_2 atmosférico aos sítios de ligação na planta é realizado por difusão e que, portanto, é dependente do gradiente entre o teor de CO_2 atmosférico e o teor de CO_2 no mesofilo da planta, o qual é influenciado pela temperatura (TAIZ; ZEIGER, 2004). No caso de plantas C4, segundo Versteeg e van Keulen (1986), a assimilação máxima de CO_2 é da ordem de 88 $kg.ha^{-1}.dia^{-1}$, função da temperatura diurna (T_{Dia_i}, ºC) e da temperatura da planta (T_{Ref_i}, ºC).

Para minimizar efeitos da variação da temperatura sobre o metabolismo da planta, considerou-se como temperatura de referência (T_{Ref_i}, ºC) de um dado dia i a média das temperaturas diurnas ocorridas nos dez dias antecedentes, respeitando-se os limites fisiológicos da temperatura basal (T_{Basal_i}, ºC) e da temperatura máxima (T_{Max_i}, ºC), apresentados na Tabela 7. Assim, a temperatura de referência (T_{Ref_i}, ºC) é dada pela eq. (79), cujos limites inferior e superior das temperaturas diurnas (T_{Dia_i}, ºC) são 10ºC e 35ºC, respectivamente. De modo semelhante, porém para a temperatura em 24 horas (T_{24_i}, ºC), estimou-se uma temperatura de referência para a respiração de manutenção ($T_{Respiracao_i}$, ºC), apresentada na eq. (80) a seguir (ANDRADE, 1995; ANDRADE; UART; ARGUISSAIN, 1991; FANCELLI; DOURADO NETO, 1997; VIEIRA JUNIOR, 1999, SETTER; FLANNIGAN; MELKONIAN, 2001).

$$T_{\mathrm{Re}f_i} = \frac{\sum_{i-10}^{i} T_{Dia}}{10} \tag{79}$$

$$T_{\mathrm{Re}spiracao_i} = \frac{\sum_{i-10}^{i} T24}{10} \tag{80}$$

Para Taiz e Zeiger (2004) e Heemst (1988) a respiração é função da temperatura, o que implica a estimativa de um fator de correção. Esses valores podem ser calculados assumindo-se

que as proteínas, em geral, consomem 0,035 kg de CH_2O por quilograma produzido diariamente, enquanto outras moléculas nas mesmas condições consomem cerca de 0,07 kg CH_2O, ou seja, o coeficiente de temperatura expressa a respiração de manutenção à temperatura ambiente como fração da respiração de manutenção para uma dada temperatura de referência. Em geral, utiliza-se o valor Q10, o qual expressa a variação da atividade enzimática a cada 10 ºC, sendo recomendado para o milho Q10 igual a dois (HEEMST, 1988). Assim, caso a temperatura em 24 horas (T_{24_i}, ºC) de um dado dia $\underline{i}$ no calendário Juliano seja maior ou igual à temperatura de respiração ($T_{Respiração_i}$, ºC) o coeficiente de respiração diário é dado por:

$$kR_i = Q_{10}^{\frac{T_{24_i} - T_{\text{Re}\,spiração_i}}{10}} \tag{81}$$

caso contrário, o coeficiente de respiração diário (kR_i)é dado pela razão entre a temperatura em 24 horas (T_{24_i}, ºC) e a temperatura de respiração ($T_{Respiração_i}$, ºC), conforme eq. (82).

$$kR_i = \frac{T_{24\,i}}{T_{\text{Re}\,spiracao_i}} \tag{82}$$

Observa-se que a temperatura de referência para a respiração ($T_{Respiração_i}$, ºC), eq. (79), não é a mesma para a assimilação, eq. (80), pois a respiração ocorre durante o dia e a noite, enquanto a assimilação ocorre principalmente durante o dia. É preciso atentar também para as temperaturas, bem como o coeficiente de respiração, em relação ao desenvolvimento da planta, pois Cellier et al. (1993) destacam que a temperatura da planta durante seus estádios iniciais de desenvolvimento é influenciada pela temperatura da superfície do solo, influência essa minimizada durante o desenvolvimento da cultura. Simplificando as recomendações de Cellier et al. (1993), optou-se por uma função linear entre a temperatura da superfície do solo e a temperatura do ar até a cultura de milho apresentar índice de área foliar igual a três; depois foi utilizada a temperatura do ar. Entre a semeadura e a cultura apresentando índice de área foliar igual a três (IAF, $m^2.m^{-2}$), estimou-se as temperaturas noturnas (T_{Noite_i}, ºC), diurnas (T_{Dia_i}, ºC), em 24 horas (T_{24_i}, ºC), de referência (T_{Ref_i}, ºC) e de referência para respiração de manutenção ($T_{Respiração_i}$, ºC) diárias pela eq. (82), em que a variável $\underline{T}$ representa genericamente as temperaturas citadas, TAr, representa a temperatura do ar e TSuperfície representa a temperatura da superfície do solo, todos em graus Celsius diários.

$$T_i = \frac{(TAr_i * IAF_{i-1}) + (TSuperficie_i * 3 - IAF_{i-1})}{3} \quad (83)$$

A disponibilidade hídrica para a planta, é função da evaporação e da transpiração, ou evapotranspiração. Quanto à evapotranspiração, em razão da dificuldade na obtenção dessa informação medida, utilizou-se o método de Penman–Monteith (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997) para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0, cm.dia^{-1}), conforme apresentado na eq. (84).

$$ET_{0i} = \frac{S_i}{S_i + \gamma} * (R_i - G_i) * \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{(S_i + \gamma)} * \frac{900}{(TAr_{24_i} + 275)} * U_i * (\ell_{Ui} - \ell_{Ai}) \quad (84)$$

Na eq. (84) S refere-se à declividade da curva de pressão de vapor, sendo estimada por:

$$S_i = \frac{4098 * \ell s_i}{(TAr_{24i} + 237{,}3)^2} \quad (85)$$

em que, para um dado dia i do calendário Juliano, TAr_{24_i} é a em 24 horas estimada a partir das temperaturas medidas à 1,4 metros da superfície do solo e ℓ_S é a pressão de vapor saturada, dada por:

$$\ell_{S_i} = 0{,}6108 * \exp\left(\frac{17{,}27 * TAr_{24_i}}{TAr_{24_i} + 237{,}3}\right) \quad (86)$$

Ainda na eq. (84) γ refere-se à constante psicrométrica, sendo estimada por:

$$\gamma = \lambda * (1 + 0{,}33 * U) \quad (87)$$

em que U refere-se à velocidade do vento dois metros acima do dossel e λ refere-se ao coeficiente psicrométrico, o qual é estimado em função da pressão atmosférica local (P, cm).

$$\lambda = 0{,}000662 * P \quad (88)$$

É sabido que a pressão atmosférica de um local varia segundo as condições atmosféricas e a altitude (VIANELLO; ALVES, 2000); entretanto, para efeito da estimativa da evapotranspiração de referência, Pereira, Villa Nova e Sediyama (1997) argumentam que apenas a variação geográfica em função da altitude (Alt, m) é significativa. Assim, esses autores sugerem calcular a pressão atmosférica (P, cm) de um local por meio de:

$$P = 101{,}3 * \left(\frac{293 - 0{,}0065 * \mathrm{Alt}}{293}\right)^{5{,}26} \quad (89)$$

Quanto à velocidade do vento dois metros acima do dossel (U_i, $m.s^{-1}$), Assis (2004) comenta a dificuldade na obtenção dessa medida. Assim, no presente caso, foi adotado o valor de cinco $km.h^{-1}$, bastante comum para velocidades de vento na região Centro-Sul do Brasil (VIANELLO; ALVES, 2000).

A eq. (84) considera ainda a radiação líqüida (R_i, $J.m^{-2}.dia^{-1}$), obtida da diferença entre a radiação incidente (R_{S_i}, j m^{-2} dia^{-1}) em um dado dia i do calendário Juliano e a radiação de ondas (R_{B_i}) longas, estimada por:

$$R_{b_i} = \sigma * \left(273{,}15 + TAr_{24_i}{}^4\right) * \left(0{,}31 - 0{,}14 * \ell_{d_i}\right) \tag{90}$$

em que σ é a constante de Stefan – Boltzmann ($4{,}903.10^{-9}$ $W.K^{-4}.m^{-2}$), e ℓ_A é a pressão de vapor de saturação à temperatura do bulbo seco ($cm.dia^{-1}$), estimada por:

$$\ell_{A_i} = \frac{UR_i * \ell_{U_i}}{100} \tag{91}$$

em que UR refere-se à umidade relativa do ar (UR_i, %) medida em um dado dia i e ℓ_U é a pressão de vapor de saturação à temperatura do bulbo úmido nesse dia, representada em centímetros, e considerada igual à pressão de vapor de saturação (ℓ_S, cm), estimada na eq. (85).

A eq. (84) para a estimativa da evapotranspiração de referência considera ainda o fluxo de calor no solo (G_i, ºC), o qual pode ser calculado para um dado dia i do calendário Juliano por:

$$G_i = 0{,}38 * (TAr_{24i} - TAr_{24i-3}) \tag{92}$$

ou considerado nulo enquanto i for menor que 4.

Para Pereira, Villa Nova e Sediyama (1997), a evaporação diária pode ser obtida a partir da evaporação de referência (E_{0_i}, $cm.dia^{-1}$), estimada pela equação de Penman:

$$E_{0_i} = \frac{W_i * (R_i - G_i)}{2{,}45} + (1 - W_i) * 86400 * 1{,}26 * 1{,}005 * \frac{(\ell_{U_i} - \ell_{A_i})}{(\gamma * 2450 * r_a)} \tag{93}$$

a qual considera, além de alguns dos parâmetros utilizados na eq. (84), o valor diário de W:

$$W_i = -0{,}483 + 0{,}01 * T_{24_i} \tag{94}$$

e da componente aerodinâmica dada por:

$$r_a = \frac{250}{1 + 0{,}526 * U_i} \tag{95}$$

A radiação solar incidente sobre o dossel das culturas (R_{S_i}, $J.m^{-2}.dia^{-1}$) pode ser reputada, segundo Vianello e Alves (2000), como a medida da radiação de ondas curtas. Porém, conforme

destacam Taiz e Zeiger (2004), apenas parte do espectro da radiação é aproveitada pelas plantas no processo de fotossíntese, considerada em regiões tropicais como 60% da radiação incidente e denominada radiação fotossinteticamente ativa (PAR_i, $J.m^{-2}.dia^{-1}$). Ainda acerca da radiação no dossel das culturas, é preciso levar em conta sua atenuação segundo a profundidade do dossel, ou coeficiente de extinção da radiação no dossel (kE_i). A determinação de kE_i constitui uma limitação, entretanto, tendo-se em mente que é conseqüência da arquitetura do dossel e do ângulo de incidência da radiação ($Zenite_i$, º) em um dado dia i, para Lange et al. (1985) e Wang e Jarvis (1988) o coeficiente de extinção no dossel (kE_i) pode ser estimado por:

$$kE_i = \frac{\sqrt{ELAPD + Tan(Zenite_i)^2}}{ELAPD + 1{,}702 * (ELAPD + 1{,}12)^{-0{,}708}} \tag{96}$$

em que o $Zênite_i$, apresentado na eq. (97), é caracterizado pelo ângulo horário (h_i, º), pelo dia i do calendário Juliano e a latitude do local (Lat, ºS). Nesse caso considerou-se o horário de 12:00, o que elimina a necessidade da integração dos ângulos horários durante o fotoperíodo.

$$Zenite_i = [Sen(Lat * Rad) * Sen(\delta_i * Rad)] + [Cos(Lat * Rad) * Cos(\delta_i * Rad)] \tag{97}$$

Quanto ao ELADP, o qual é função das projeções vertical e horizontal das folhas, calculadas em razão do ângulo de inserção da folha no colmo da planta e do comprimento da folha, respectivamente, para plantas de milho, sugere-se o valor de 0,65 (CAMPBELL, 1986, VARLET-GRANCHER; BONHOMME; SINOQUET, 1993; WANG; JARVIS, 1988).

3.3.3 Dados e estimativa dos parâmetros da planta

A principal característica de um modelo de cultura é estimar a produção, a partição e a acumulação de fitomassa, o que depende de informações relativas às condições ambientais a que a cultura está submetida - tema já abordado e discutido nos tópicos anteriores - e da sua interação com parâmetros morfofisiológicos da planta e da cultura (LARCHER, 1995).

Em plantas multiplicadas por sementes, a fitomassa primitiva é dada pela massa de sementes, no caso do milho da ordem de 20 $kg.ha^{-1}$. Quando consideradas as alocações de fitomassa nos diferentes órgãos da planta de milho, as acumulações primitivas são definidas pelas estruturas das sementes, nas quais o embrião responde por cerca de 10%. A massa da radícula, das estruturas que dão origem ao colmo e as folhas respondem por cerca de 40, 20 e 40%, respectivamente, da massa do embrião. Assim, a acumulação primitiva da raiz, do colmo, das folhas e dos órgãos reprodutivos em milho são de 0,8, 0,4, 0,8 e zero $kg.ha^{-1}$, respectivamente (CARVALHO; NAKAGAWA, 1988; SCHOPER; JOHNSON; LAMBERT, 1962).

O desenvolvimento da planta é função principal da produção de fotoassimilados, de sua conversão em substâncias mais complexas nos diferentes órgãos da planta e da energia requerida para sua manutenção, ou seja, é dependente do metabolismo da planta, sobre o qual a temperatura tem efeito considerável. Nesse caso, a velocidade das reações, comumente, é expressa pelo fator Q10 (TAIZ; ZEIGER, 2004), ou seja, a variação em uma rota metabólica correspondente à variações de 10ºC na temperatura do ambiente. No caso do milho, sugere-se utilizar o valor 2 para Q10 (HEEMST, 1986; STOCKLE; NELSON, 1996).

O desenvolvimento da planta de milho, além da capacidade de dreno de cada órgão, a ser discutida no próximo tópico, é dependente da transformação do fotoassimilado (CH_2O) em moléculas mais complexas, a exemplo de outros carboidratos, como a celulose e amido, proteínas, lipídios e ácidos. Essas rotas metabólicas requerem consumo de energia, processo denominado respiração de crescimento, sendo muitas vezes expressas de modo genérico para cada órgão como sua eficiência de conversão ($ec_{\text{órgão da planta}}$) de fotoassimilados (TAIZ; ZEIGER, 2004), apresentados na Tabela 7 para a raiz, o colmo, as folhas e os órgãos reprodutivos de milho.

Além da respiração de crescimento, deve ser levada em conta a respiração de manutenção, a qual consome fotoassimilados e reservas da planta para fornecer energia aos processos de degradação e re-síntese necessários para a manutenção dos gradientes iônicos e das estruturas celulares, entre outras funções (TAIZ; ZEIGER, 2004). No caso do milho, a respiração de

manutenção é dependente da temperatura e do órgão da planta, ou seja, o total de quilogramas de fotoassimilados consumidos para a manutenção de um quilograma de massa do órgão da planta em um dia i do calendário Juliano ($r_{Orgão\ da\ planta_i}$, $kg.kg^{-1}.dia^{-1}$), apresentada para os diferentes órgãos da planta de milho na Tabela 7.

O desenvolvimento da planta de milho é pouco afetado pelo fotoperíodo, notadamente em condições tropicais; assim, a temperatura é o principal fator ambiental a regular o seu desenvolvimento. É fundamental considerar que a planta apresenta uma faixa de temperaturas ótimas para o seu metabolismo, bem como limite superior (T_{Max_i}, ºC) e inferior (T_{Basal_i}, ºC), a partir dos quais o desenvolvimento é praticamente nulo. Assim, o desenvolvimento pode ser estimado pelo somatório das diferenças entre as temperaturas médias diárias e a temperatura basal da planta, ou graus-dias (GD, $ºC.dia^{-1}$). Considerando que foram utilizados os resultados do Ensaio Nacional de Cultivares de Milho do ciclo precoce, o valor de 10ºC como temperatura basal, 35ºC como temperatura máxima, $60ºC.dia^{-1}$ para o período entre a semeadura e a emergência da plântula, $1.750ºC.dia^{-1}$ para os estádios 1 a 4 e $1.000ºC.dia^{-1}$ para início da senescência das folhas (Tabela 7).

Ainda levando em consideração aspectos morfofisiológicos da cultura, a produção de fotoassimilados é função da área foliar, expresso pelo índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$). No caso do milho, são indicados valores entre quatro a sete como ótimos, destacando-se que IAF maior que 12 compromete irremediavelmente a produção pela competição entre plantas. Portanto, em condições ambientes a cultura dificilmente ultrapassa esse valor, tido como valor máximo de IAF em modelos de cultura para milho (VIEIRA JUNIOR, 1999; STOCKLE; NELSON, 1996). Para a estimativa do IAF, é preciso levar em conta que o desenvolvimento da área foliar é função da alocação de fotoassimilados nas folhas, sua conversão em substâncias mais complexas até a folha atingir seu desenvolvimento máximo e a energia necessária para manutenção, ou seja, deve entrar no cômputo a alocação líqüida de massa na folha. Assim, a estimativa da área foliar pode ser obtida a partir da massa foliar específica máxima (AFE_{Max}, $m^2.kg^{-1}$) e mínima (AFE_{Max}, $m^2.kg^{-1}$) da folha de milho, cujos valores extremos são apresentados na Tabela 7.

Além da área foliar, o desenvolvimento da planta é afetado pelo volume de solo explorado pelo sistema radicular da planta. Assim, deve se considerar o volume de raízes, cujos limites são definidos pela profundidade do sistema radicular na germinação e a profundidade máxima possível, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros morfofisiológicos da planta de milho

(continua)

Parâmetro	Valor	Unidade	Referencia
Área foliar específica máxima (AFE_{Max})	35	$m^2.kg^{-1}$	Elings (2000); Garnier et al. (2001); Stockle e Nelson (1996).
Área foliar específica mínima (AFE_{Min})	14	$m^2.kg^{-1}$	Elings (2000); Garnier et al. (2001); Stockle e Nelson (1996).
Eficiência de conversão de fotoassimilados na raiz (ec_{Raiz})	0,73		Heemst (1988); Magalhães e Paiva (1993); Vertregt e Penning de Vries (1987).
Eficiência de conversão de fotoassimilados no colmo (ec_{Colmo})	0,70		Heemst (1988); Magalhães e Paiva (1993); Vertregt e Penning de Vries (1987).
Eficiência de conversão de fotoassimilados na folha (ec_{Folha})	0,75		Heemst (1988); Magalhães e Paiva (1993); Vertregt e Penning de Vries (1987).
Eficiência de conversão de fotoassimilados nos órgãos reprodutivos (ec_{OR})	0,78		Heemst (1988); Magalhães e Paiva (1993); Vertregt e Penning de Vries (1987).
Taxa da respiração de manutenção na raiz (r_{Raiz})	0,011	$kg.kg^{-1}.dia^{-1}$	Heemst (1988); Magalhães e Paiva (1993); Vertregt e Penning de Vries (1987).
Taxa da respiração de manutenção no colmo (r_{Colmo})	0,010	$kg\ kg^{-1}.dia^{-1}$	Heemst (1988); Magalhães e Paiva (1993); Vertregt e Penning de Vries (1987).
Taxa da respiração de manutenção na folha (r_{Folha})	0,013	$kg.kg^{-1}.dia^{-1}$	Heemst (1988); Magalhães e Paiva (1993); Vertregt e Penning de Vries (1987).

Tabela 7 – Parâmetros morfofisiológicos da planta de milho

(conclusão)

Parâmetro	Valor	Unidade	Referencia
Taxa da respiração de manutenção nos órgãos reprodutivos (r_{OR})	0,009	$kg.kg^{-1}.dia^{-1}$	Heemst (1988); Magalhães e Paiva (1993); Vertregt e Penning de Vries (1987).
Temperatura basal (T_{Basal})	10	ºC	Andrade, Uart e Arguissain (1991); Duarte e Paterniani (2000); Stockle e Nelson (1996); Vieira Junior (1999).
Temperatura máxima (T_{Max})	35	ºC	Andrade, Uart e Arguissain (1991); Duarte e Paterniani (2000); Stockle e Nelson (1996); Vieira Junior (1999).
Soma térmica para germinação ($GD_{Germinação}$)	60	ºC	Andrade, Uart e Arguissain (1991); Duarte e Paterniani (2000); Stockle e Nelson (1996); Vieira Junior (1999).
Soma térmica para maturidade da folha (GD_{Folha})	1.100	ºC	Andrade, Uart e Arguissain (1991); Duarte e Paterniani (2000); Stockle e Nelson (1996); Vieira Junior (1999).
Soma térmica para maturidade da planta (GD_{Planta})	1.750	ºC	Andrade, Uart e Arguissain (1991); Duarte e Paterniani (2000); Stockle e Nelson (1996); Vieira Junior (1999).
Profundidade da raiz na emergência da plântula ($ZMin_{Raiz}$)	10	cm	Carvalho e Nakagawa (1988); Stockle e Nelson (1996); Vieira Junior (1999).
Profundidade máxima do sistema radicular ($ZMax_{Raiz}$)	140	cm	Fancelli e Dourado Neto (1997); Stockle e Nelson (1996); Vieira Junior (1999).

3.3.4 Estimativa dos desenvolvimentos relativos da cultura

A estimativa do desenvolvimento de uma planta pode ser realizada a partir de dados observados para aquela espécie, dependentes, além das variações genéticas, das expressões fenotípicas (LARCHER, 1985). A planta de milho obedece a padrões definidos de alocação de fotoassimilados nos diferentes órgãos segundo seus estádios de desenvolvimento; as alocações são definidas pela capacidade do dreno, a qual é influenciada, principalmente, pela temperatura. Deste modo, a partir de dados observados de desenvolvimento nos diferentes órgãos da planta de milho em relação aos graus-dias (GD, ºC.dia^{-1}), é possível estabelecer taxas de alocação, que variam pouco quando considerados genótipos de ciclo semelhante (ANDRADE, 1995; CIRILO; ANDRADE, 1994a; STOCKLE; NELSON, 1996).

Neste caso, uma vez que se tratavam de genótipos brasileiros de ciclo precoce, foram utilizadas aqui informações compiladas (Tabela 8) de Affholder, Rodrigues e Assad (1997), Bergonci e Bergamaschi (2002), Dourado Neto (1999), Duarte e Paterniani (2000), Fancelli e Dourado Neto (1997), Fornasieri Filho (1992) e Magalhães e Paiva (1993), já que são dados de germoplasmas disponíveis no Brasil, portanto, semelhantes aos avaliados no Ensaio Nacional de Cultivares de Milho (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2005a).

Antes do Desenvolvimento Relativo da Planta, estimou-se o período entre a semeadura e a emergência da plântula (Germinação, dias). Para tanto, conforme eq. (98), considerou-se o período de dias necessário para que o somatório das diferenças entre a temperatura basal (T_{Basal}, ºC) e as temperaturas em 24 horas na superfície do solo ($TSuperfície_{24_i}$, ºC) diária fosse igual à soma térmica para germinação ($GD_{Germinação}$, ºC.dia^{-1}), tendo o limite superior de 35ºC para a temperatura (Tabela 7).

$$Ger\min ação = \sum_{1}^{i} TSuperficie_{24_i} - T_{Basal} \tag{98}$$

Para a estimativa do Desenvolvimento Relativo Diário da Planta (DRD_{Planta_i}) foi considerada uma função entre os limites de cada estádio de desenvolvimento (Tabela 8) e a relação entre o somatório diário de Graus-dia (GD_i, ºC.dia^{-1}) e soma térmica para maturidade da planta (GD_{Planta}, ºC.dia^{-1}), respeitando-se o limite superior de 35ºC. Assim, o Desenvolvimento Relativo Diário da Planta (DRD_{Planta_i}) no primeiro dia após a emergência pode ser estimado pela eq. (99), na qual deve ser observada a questão da temperatura em 24 horas como função da

temperatura da superfície e da temperatura do ar até que a cultura atinja índice de área foliar igual ou maior que três, conforme discutido no tópico 3.3.2.

$$DRD_{Planta_i} = \frac{T_{24_i} - T_{Basal}}{GD_{Planta}} \tag{99}$$

Já os Desenvolvimentos Relativos da Planta (DR_{Planta_i}) subseqüentes serão dados pelo somatório do desenvolvimento em dado dia i do calendário Juliano e os desenvolvimentos anteriores, conforme eq. (100).

$$DR_{Planta_i} = \left(\frac{T_{24_i} - T_{Basal}}{GD_{Planta}} \right) + DR_{Planta_{i-1}} \tag{100}$$

Considerando o Desenvolvimento Relativo da Planta (DR_{Planta}), é possível estimar a Taxa de Alocação (TA_i) de fotoassimilados nos seus diferentes órgãos aplicando-se uma função linear entre os limites determinados pelos estádios de desenvolvimento (Tabela 8), a qual é dada por:

$$TA_{Orgao_i} = TAL_{Orgao_k} + kAngular_{Orgao} * (DR_{Planta\,i} - DRL_{Planta\,k}) \tag{101}$$

em que DR_{Planta_i} e $TA_{Órgão_i}$ referem-se ao Desenvolvimento Relativo da Planta e à Taxa de alocação em um determinado órgão - no presente caso, raiz, colmo, folha e órgãos reprodutivos, respectivamente, no i-ésimo dia do calendário Juliano - DRL_{Planta} e $TAL_{Orgão}$ referem-se ao Desenvolvimento Relativo Limite da Planta e à Taxa de Alocação Limite em cada órgão segundo os estádios de desenvolvimento da planta, respectivamente, no k-ésimo estádio da cultura, no presente caso variando entre um a sete. Ainda foi levado em conta o coeficiente angular da função para um dado órgão ($kAngular_{Orgão_k}$) no k-ésimo estádio de desenvolvimento relativo, que é dado por:

$$kAngular_{Orgao} = \frac{TAL_{Orgao\,k=1} - TAL_{Orgao\,k}}{TAL_{Planta\,k+1} - TAL_{Planta\,k}} \tag{102}$$

Para o último estádio de desenvolvimento considera-se a Taxa de Alocação de um dado Órgão da planta ($TA_{Órgão_i}$) igual à Taxa de Alocação Limite desse órgão da planta ($TAL_{Orgão}$) no último dos k-ésimos estádios, no caso, estádio sete.

A evolução da Área Foliar Específica também pode ser estimada por uma função que considere as Áreas Foliares Específicas máxima (AFE_{Max}, $m^2.kg^{-1}$) e mínima (AFE_{Min}, $m^2.kg^{-1}$) em relação ao Desenvolvimento Relativo da Planta (DR_{Planta}), conforme dado por:

$$AFE_i = AFE_{Min} - (AFE_{Max} - AFE_{Min}) * Log(DR_{Planta_i}) \quad (103)$$

No caso da Área Foliar Especifica diária (AFE, $m^2.kg^{-1}$), deve ser considerado o limite máximo, representado pela Área Foliar Especifica Máxima (AFE_{Max}, $m^2.kg^{-1}$) a partir do qual sua variação é nula e, portanto, a AFE será igual à AFE_{Max}, independente da sua variação diária.

Tabela 8 – Desenvolvimento Relativo Limite da Planta (DRL_{Planta}) e as respectivas Taxas de Alocação Limites na Raiz (TAL_{Raiz}), no colmo (TAL_{Colmo}), na folha (TAL_{Folha}) e nos órgãos reprodutivos (TAL_{OR}) segundo os estádios da planta de milho

Estádio	**DRL_{Planta}**	**TAL_{Raiz}**	**TAL_{Colmo}**	**TAL_{Folha}**	**TAL_{OR}**
1	0,00	0,38	0,30	0,32	0,00
2	0,08	0,30	0,35	0,35	0,00
3	0,38	0,08	0,60	0,32	0,00
4	0,45	0,04	0,68	0,28	0,00
5	0,50	0,00	0,51	0,25	0,24
6	0,60	0,00	0,08	0,05	0,87
7	0,63	0,00	0,00	0,00	1,00

Fonte: Affholder, RODRIGUES; ASSAD (1997), Bergonci e Bergamaschi (2002), Dourado Neto (1999), Duarte e Paterniani (2000), Fancelli e Dourado Neto (1997), Fornasieri Filho (1992) e Magalhães e Paiva (1993).

3.3.5 Estimativa do rendimento de grãos

Modelos de estimativa da produção vegetal devem primariamente considerar a produção biológica máxima, denominada produção em kg.ha^{-1}, aplicando a seguir as restrições referentes aos fatores da oferta ambiental, a exemplo da disponibilidade hídrica e/ou nutricional, para a estimativa da produção atual (GIFFORD; EVANS, 1981).

Nesse caso, baseado em um modelo de cultura apresentado por Driessen e Konijn (1992), para a estimativa da produção da planta de milho foram considerados: i) parâmetros geográficos de latitude (Lat, ºS) e altitude (Alt, m) do local discutidos no tópico 3.3.2; ii) parâmetros meteorológicos diários das temperaturas máxima (T_{Max_i}, ºC) e mínima (T_{Min_i}, ºC) e da radiação líqüida (Rad_i, J.m^{-2}.s^{-1}) também discutidos no tópico 3.3.2; iii) parâmetros morfofisiológicos da planta de milho apresentados na Tabela 7 e discutidos no tópico 3.3.3; e o iv) Desenvolvimento Relativo da Planta, apresentado na Tabela 8 e discutidos no tópico 3.3.4.

Para a estimativa da produção de uma planta, o principal processo a ser considerado é a assimilação, ou seja, a absorção e posterior redução do CO_2 atmosférico em fotoassimilado (CH_2O), desenvolvimento que, entre outros fatores, é dependente da temperatura (TAIZ; ZEIGER, 2004). Assim, no caso do milho, se a temperatura diurna (T_{Dia_i}, ºC) for menor ou igual à temperatura de referência (T_{Refl}, ºC), a assimilação máxima (ADC_i, kg.ha^{-1}.dia^{-1}) diária pode ser estimada segundo a eq. (104). Caso a temperatura diurna (T_{Dia_i}, ºC) seja maior que a temperatura de referência (T_{Ref_i}, ºC), utiliza-se a eq. (105), limitando-se ambos os casos a 88 kg.ha^{-1}.dia^{-1} de CO_2.

$$ADC_i = 110 - 10 * (T_{\mathrm{Re}\,f_i} - T_{Dia_i}) \qquad \text{se } T_{Dia_i} \le T_{\mathrm{Re}\,f_i} \qquad (104)$$

$$ADC_i = 110 - 2 * (T_{Dia_i} - T_{\mathrm{Re}\,f_i}) \qquad \text{se } T_{Dia_i} > T_{\mathrm{Re}\,f_i} \qquad (105)$$

Nas plantas C4 a assimilação do CO_2 atmosférico é realizada pela enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP Carboxilase), com alta afinidade ao CO_2 quando comparada à Rubisco das plantas C3. Após a ligação do CO_2 atmosférico à PEP Carboxilase nas células do mesófilo, o gás é convertido em ácido com quatro carbonos, malato e/ou aspartato, transportados até as células da bainha do feixe vascular, onde ocorre sua descarboxilação, com produção de CO_2, o qual é reduzido à carboidrato pelo Ciclo de Calvin, resultando na produção de fotoassimilados (TAIZ; ZEIGER, 2004). Na planta, esse mecanismo é dependente do coeficiente

de extinção da radiação no dossel (ke_i) e da radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_i, $J.m^{-2}.dia^{-1}$) sobre o dossel - parâmetros discutidos no tópico 3.3.2 - além da área foliar viva.

A partir do exposto sobre a redução de CO_2 em fotoassimilados, Spitters (1986) sugere estimar o total diário de CO_2 reduzido ($CO2_{Reduzido_i}$, $kg.ha^{-1}.dia^{-1}$) por:

$$CO2_{\text{Re}\,duzido_i} = \frac{FotDia_i * Ln(ADC_i + PAR_i * ke_i * 0{,}5) * \left(\frac{ADC_i}{ke_i}\right)}{ADC_i + PAR_i * ke_i * 0{,}5 * Exp(-IAF_i * ke_i)} \quad (106)$$

em que, para um dado dia i do calendário Juliano, $FotDia_i$ refere-se à duração do fotoperíodo em horas, PAR_i refere-se à radiação fotossinteticamente ativa em $J.m^{-2}.dia^{-1}$ e ke_i refere-se ao coeficiente de extinção da radiação no dossel, parâmetros discutidos no tópico 3.3.2, além de ADC_i, que refere-se à assimilação de CO_2 em $kg.ha^{-1}.dia^{-1}$ e IAF_i, que refere-se ao índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$).

Considerando as massas das moléculas de fotoassimilado (CH_2O) e de CO_2 como 30 e 44, respectivamente, é possível estimar a produção bruta diária de fotoassimilados ($Fotoassimilado_{Total_i}$, $kg.ha^{-1}.dia^{-1}$) pela eq. (107). Nesse caso, a assimilação de CO_2 é regulada pela abertura estomática, função, além da temperatura, conforme considerado nas eq. (104) e (105), da disponibilidade de água. Assim, aplica-se o coeficiente hídrico (kH_i), a ser discutido no tópico 3.3.6.

$$Fotoassimilado_{Total\,i} = CO2_{\text{Re}\,duzido_i} * \frac{30}{44} * kh \quad (107)$$

O índice de área foliar (IAF_i, $m^2.m^{-2}$), ou seja, a superfície de área foliar sobre uma superfície de solo, em um dado dia i do calendário Juliano, pode ser estimado em função da massa das folhas vivas ($FolhaViva_i$, $kg.ha^{-1}$) no dia anterior e da Área Foliar Específica (AFE, $m^2.kg^{-1}$) do milho por:

$$IAF_i = \frac{FolhaViva_{i-1} * AFE}{10000} \quad (108)$$

Deve-se ter em mente que a variação diária da Área Foliar Específica é dependente do Desenvolvimento Relativo da planta (DR_{Planta_i}), conforme apresentado na eq. (103) do tópico 3.3.4, obedecendo aos limites máximo (AFE_{Max}, $m^2.kg^{-1}$) e mínimo (AFE_{Min}, $m^2.kg^{-1}$) de Área Foliar Específica apresentados na Tabela 7.

A produção total de fotoassimilados ($Fotoassimilado_{Total_i}$, $kg.ha^{-1}.dia^{-1}$) estimada pela eq. (107) é alocada, conforme indicado por:

$$Fotoassimilado_{Orgão_i} = Fotoassimilado_{Total_i} * DR_{Orgão_i} \quad (109)$$

em que $Fotoassimilado_{Órgão_i}$ representa a alocação diária em quilogramas por hectare nos diferentes órgãos da planta - raiz, colmo, folha e órgãos reprodutivos - segundo os desenvolvimentos relativos diários de cada órgão discutidos no tópico 3.3.4.

É preciso considerar que o fotoassimilado alocado nos diferentes órgãos da planta irá contribuir para o seu desenvolvimento, o que requer a transformação do carboidrato em moléculas mais complexas com consumo de energia, processo denominado respiração de crescimento, bem como para a respiração de manutenção (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A respiração de manutenção, altamente dependente da temperatura, das diversas partes da planta, como a raiz ($Respiração_{Raiz_i}$, $kg.ha^{-1}.dia^{-1}$), o colmo ($Respiração_{Colmo_i}$, $kg.ha^{-1}.dia^{-1}$), as folhas ($Respiração_{Folha_i}$, $kg.ha^{-1}.dia^{-1}$) e os órgãos reprodutivos ($Respiração_{OR_i}$, $kg.ha^{-1}.dia^{-1}$) podem ser estimados pela equação geral:

$$\text{Re}spiração_{Orgão_i} = r_{Orgão} * Massa_{Orgão_i} * kH_i * kR_i \quad (110)$$

em que $r_{Orgão}$ refere-se à taxa de respiração de cada órgão (Tabela 7), $Massa_{Orgão_i}$ refere-se ao peso seco diário de cada órgão, kH_i refere-se ao coeficiente hídrico diário, a ser discutido no tópico 3.3.6 e kR_i refere-se ao coeficiente de respiração em função da temperatura apresentado nas eq. (81) e (82) do tópico 3.3.2.

A disponibilidade de carboidrato para o crescimento dos órgãos da planta é dada pela diferença entre a alocação de fotoassimilado e a respiração de manutenção em cada órgão. Entretanto, há que se considerar a respiração de crescimento, ou seja, a eficiência com que a planta converte fotoassimilados em substâncias necessárias ao seu desenvolvimento. De modo geral, a eficiência na produção de ácidos é da ordem de 0,99, celulose da ordem de 0,78, proteínas da ordem de 0,51 e lipídios da ordem de 0,45 (TAIZ; ZEIGER, 2004). Embora esse processo também seja dependente da temperatura, no presente caso, em razão da contribuição não significativa e da dificuldade na estimativa de seu efeito, optou-se por não considerá-la, expressando-se a respiração de crescimento nos diferentes órgãos da planta pela eficiência de conversão, apresentada na Tabela 7. Assim, o incremento diário de matéria seca na raiz

(Incremento$_{Raiz_i}$, kg.ha^{-1}), folha (Incremento$_{Folha_i}$, kg.ha^{-1}), colmo (Incremento$_{Colmo_i}$, kg.ha^{-1}) e órgãos reprodutivos (Incremento$_{OR_i}$, kg.ha^{-1}), pode ser estimado pela equação geral

$$Incremento_{Orgão_i} = Fotoassimilado_{Orgão_i} - \text{Re}spiração_{Orgão_i} * ec \quad (111)$$

em que, além dos parâmetros Fotoassimilado$_{Orgão}$ e Respiração$_{Orgão}$ já descritos, entra a eficiência de conversão de cada órgão (ec) apresentado na Tabela 7.

A massa diária de raiz (Massa$_{Raiz_i}$, kg.ha^{-1}), colmo (Massa$_{Colmo_i}$, kg.ha^{-1}) e órgãos reprodutivos (Massa$_{OR_i}$, kg.ha^{-1}) é obtida pelo somatório dos incrementos diários, conforme apresentado na eq. (112), enquanto que a massa de grãos corrigidos para teor de umidade igual a 13%, ou produção de grãos (Produção$_{Grãos_i}$, kg.ha^{-1}), é tida como 80% da massa de órgãos reprodutivos, conforme apresentado na eq. (113).

$$Massa_{Orgão_i} = Massa_{Orgão_{i-1}} + Incremento_{Orgão_i} \quad (112)$$

$$\text{Pr}odução_{Graõs_i} = \frac{Massa_{OR_i} * 0{,}8}{0{,}83} \quad (113)$$

Conforme já discutido no tópico 3.3.4, é importante considerar que a massa inicial dos órgãos da planta, ou seja, no dia da semeadura tido como dia zero, é dada pelo produto da massa de sementes, neste caso 20 kg.ha^{-1}, da proporção da massa do embrião na massa de sementes, neste caso considerado como 10%, além das proporções das massas de raiz, colmo, parte aérea e órgãos reprodutivos presentes no embrião da semente, neste caso considerados como 40, 20, 40 e 0%, respectivamente.

Quanto à massa diária de folhas (Massa$_{Folha_i}$, kg.ha^{-1}), a soma térmica para senescência da folha é menor que a soma térmica para maturidade fisiológica da planta, o que implica considerar apenas a massa de folhas vivas (FolhaViva$_i$, kg.ha^{-1}) para a estimativa da respiração desse órgão, bem como do índice de área foliar (IAF$_i$, m^2.m^{-2}). Assim, a massa de folhas vivas (FolhaViva$_i$, kg.ha^{-1}.dia^{-1}) pode ser considerada como somatório dos incrementos diários dados pela eq. (112) apenas enquanto o desenvolvimento relativo da folha (DR$_{Folha_i}$) for maior do que a razão entre a soma térmica para senescência da folha (GD$_{Folha}$, ºC) e a soma térmica de um dado dia i do calendário Juliano. Caso contrário, é preciso estimar a massa de folha senescente (FolhaMorta$_i$, kg.ha^{-1}) diária e seu somatório por:

$$Folha_{Morta_i} = \frac{Massa_{Folha_k} + (Massa_{Folha_{k+1}} - Massa_{Folha_k})}{DR_{Planta_{k+1}} - DR_{Planta_k}} * DR_{Senescencia_i} - DR_{Planta_k} \quad (114)$$

em que $DR_{Senescência_i}$ é dado por:

$$DR_{Senescencia_i} = DR_{Planta_i} - \frac{GD_{Folha}}{GD_{Planta}} \quad (115)$$

no k-ésimo dia de senescência, ou seja, o k-ésimo dia em que o DR_{Planta} é maior que a razão entre GD_{Folha} e GD_{Planta}.

No processo para a estimativa da produção da planta de milho, é importante observar a antecipação de um dia na estimativa da massa de folha viva e sua conseqüência sobre a estimativa do índice de área foliar; assim, para melhor aproximação, após a estimativa desses parâmetros, implementou-se um algoritmo para recalcular o índice de área foliar considerando a massa de folhas vivas do dia anterior; ou seja, a eq. (108) pode ser reescrita como:

$$IAF_i = \frac{FolhaViva_i * AFE}{10000} \quad (116)$$

a partir da qual a produção é recalculada considerando o índice de área foliar diário corrigido.

3.3.6 Estimativa do coeficiente hídrico

Destaca-se que a produção dos vegetais depende da disponibilidade hídrica, a qual é função da diferença entre a adição, natural ou artificial, de água ao sistema da cultura e das perdas por evaporação e o consumo fisiológico da planta. Portanto, a disponibilidade de água para a cultura é um importante fator na estimativa de sua produção. Para tanto, considera-se que a disponibilidade hídrica no sistema da cultura afeta diretamente a abertura estomática, que corresponde à assimilação de CO_2 atmosférico, o que torna pertinente a aplicação de um coeficiente de restrição à disponibilidade hídrica do sistema (kH_i), apresentado na eq. (117), nas atividades metabólicas relacionadas à condutância estomática, notadamente a produção de fotoassimilados e a respiração (GIFFORD; EVANS, 1981, STOCKLE; NELSON, 2005).

$$kH_i = \frac{Transpiracao_i}{Transpiracao_{Max\,i}} \tag{117}$$

Considerando que as perdas de água são suportadas pela capacidade de suprimento hídrico do solo, ignorando os movimentos laterais da água no solo, a disponibilidade de água é função: i) do fluxo de água através da camada de solo explorada pelo sistema radicular; ii) do fluxo de água nas camadas inferiores à do sistema radicular; e iii) do suprimento de água à planta, igual à transpiração. Assim, a taxa diária de variação na umidade da camada radicular ($\Delta\Theta_{Raiz_i}$, $cm^3.cm^{-3}.\,dia^{-1}$) pode ser estimada de acordo com:

$$\Delta\theta_{Raiz_{\ i}} = \frac{(\Pr ec_i + Irr_i - E_i) + (Cap_i - Per_i) - TR_i}{Z_{Raiz\,i}} \tag{118}$$

em que, em um dado dia i do calendário Juliano, Z_{Raiz_i} refere-se à profundidade, em centímetros, do sistema radicular; ($Prec_i$ + Irr_i - E_i) refere-se ao fluxo de água na camada superior do sistema radicular ($Fluxo_{Superior_i}$, $cm.dia^{-1}$) em função da precipitação pluvial ($Prec_i$, $cm.dia^{-1}$), da irrigação (Irr_i, $cm.dia^{-1}$) e da evaporação (E_i, $cm.dia^{-1}$); (Cap_i - Per_i) refere-se ao fluxo de água na camada inferior ao sistema radicular ($Fluxo_{Inferior_i}$, $cm.dia^{-1}$) em função da capilaridade (Cap_i, $cm.dia^{-1}$) e da percolação ($Perc_i$, $cm.dia^{-1}$); e TR^i refere-se à transpiração atual em milímetros diários (Figura 15).

Quanto à capilaridade (Cap_i, $cm.dia^{-1}$), em razão da carência de informações sobre as propriedades físico-químicas dos solos brasileiros que determinam esse parâmetro - significativo para a cultura do milho onde o lençol freático é superficial, o que a não é comum nas áreas de

produção de milho da região Centro-Sul, o parâmetro não foi considerado na estimativa do fluxo para a camada inferior ao sistema radicular ($Fluxo_{Inferior_i}$, $cm.dia^{-1}$).

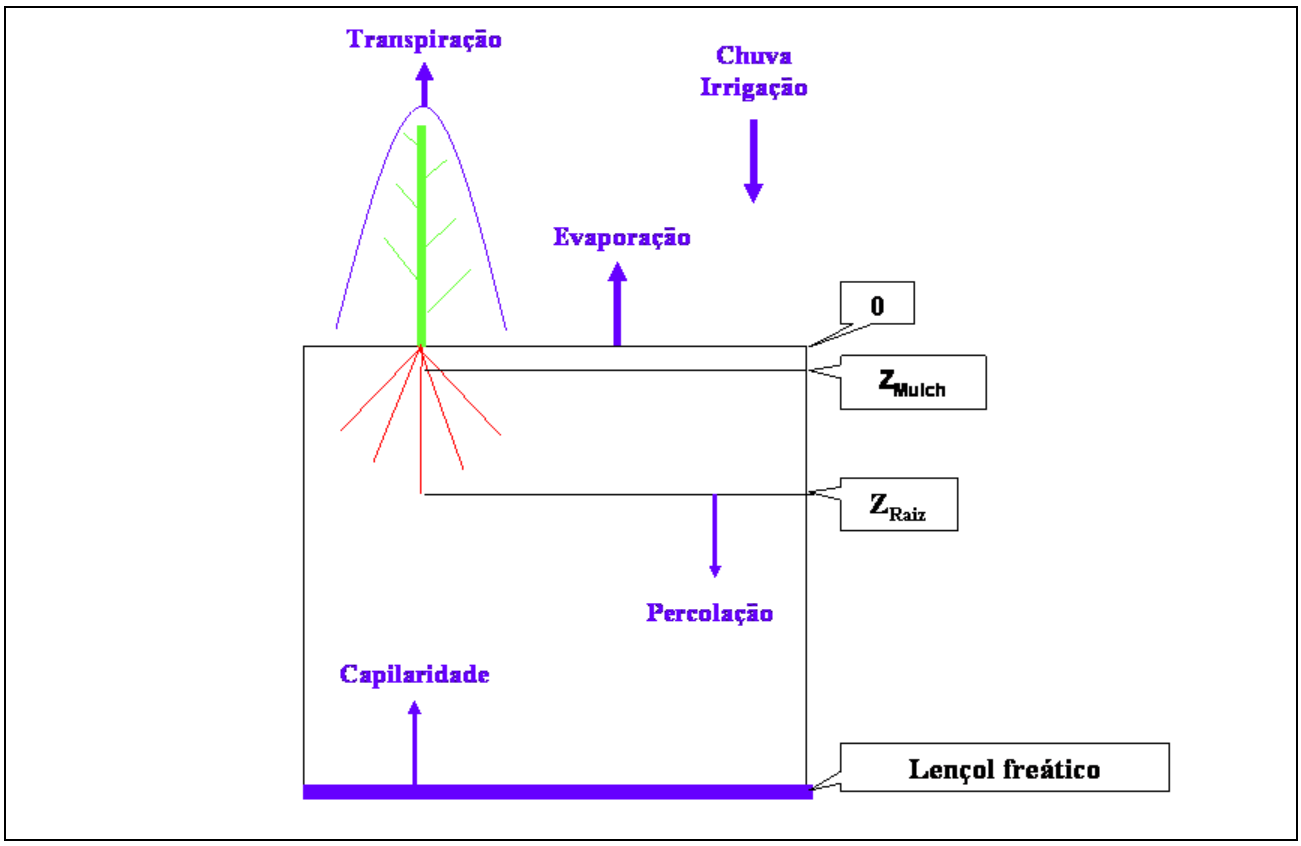


Figura 15 – Representação esquemática do fluxo de água no sistema da cultura (Adaptado de PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997)

No que tange ao suprimento de água no fluxo superior ($Fluxo_{Superior_i}$, $cm.dia^{-1}$), uma vez que os experimentos do Ensaio Nacional de Cultivares de Milho são realizados sem a suplementação de água (Embrapa Milho e Sorgo, 200a), foi considerada apenas a precipitação pluvial diária ($Prec_i$, $cm.dia^{-1}$).

Sobre o fluxo de água na camada superior ao sistema radicular ($Fluxo_{Superior_i}$, $cm.dia^{-1}$), a evaporação diária de um solo sem cobertura mantido na umidade de saturação é igual à evaporação de uma superfície de água, neste caso considerada como a estimativa da evaporação potencial (E_{0_i}, $cm.dia^{-1}$) obtida pelo método de Penman, apresentado na eq. (93).

Campbell (1985) descreve a umidade relativa do ar como função da massa molar da água (0,018 $kg.mol^{-1}$), do potencial de energia do ambiente, da constante universal dos gases (8,3143

$J.mol^{-1}.K^{-1}$) e da temperatura; assim, o autor sugere que a evaporação em um dado dia i do calendário Juliano em um solo não saturado e sem cobertura (E_{Solo_i}, $cm.dia^{-1}$) pode ser estimada pela eq. (119), a qual é função da evaporação de referência (E_{0_i}, $cm.dia^{-1}$), da umidade relativa do ar na atmosfera (UR_{Ar_i}) medida e da umidade relativa do ar no solo (UR_{Solo_i}).

$$E_{Solo_i} = \frac{E0 * (UR_{Solo_i} - UR_{Ar_i})}{(1 - UR_{Ar_i})} \tag{119}$$

De acordo com a lei de Raoult apresentada por Wylen, Sonntag e Borgnakke (1995), a pressão de vapor de soluções perfeitas é proporcional à fração molar do solvente, o que permite descrever a umidade relativa do ar no solo em função do potencial matricial no solo (ψ_{Solo_i}, cm) e da temperatura em 24 horas (T_{24_i}, ºC) por:

$$UR_{Solo_i} = \exp\left(\frac{\psi_{Solo_i} * V}{R * (273 + T_{24\,i})}\right) \tag{120}$$

em que V refere-se à massa molar da água (0,018 $kg.mol^{-1}$) e R refere-se à constante universal dos gases (8,3143 $J.mol^{-1}.K^{-1}$).

A evaporação diária máxima é menor que a evaporação do solo sem cobertura (E_{Solo_i}, $cm.dia^{-1}$) se a superfície estiver coberta, a exemplo de superfícies cultivadas em que o dossel das culturas afeta a umidade relativa do ar e a temperatura no seu interior como conseqüência de sua arquitetura. O efeito da arquitetura do dossel sobre os fluxos em seu interior pode ser expresso pelo coeficiente de extinção (ke_i); assim, considerando que a evaporação é função direta da radiação, é possível estimar a evaporação máxima de um solo cultivado (E_{Max_i}, $cm.dia^{-1}$) em função do índice de área foliar (IAF_i, $cm^2.cm^{-2}$) e do coeficiente de extinção no dossel (ke_i) por:

$$E_{Max_i} = E_{Solo_i} * \exp(-IAF_i * ke) \tag{121}$$

Na análise da dinâmica da água numa cultura, é importante considerar que seu fluxo entre a camada do sistema radicular e a camada superior, a atmosfera, apresenta uma zona de intercessão, doravante denominada camada Mulch. Assim, a camada Mulch, que apresenta potencial de água e umidade diferentes do solo, pode representar um obstáculo à evaporação da água do solo, desde que o fluxo de vapor ($Fluxo_{Vapor_i}$, $cm.dia^{-1}$) através dessa camada seja menor que a sua taxa de suprimento de água às camadas inferiores, o que implica determinar sua profundidade para analisar a dinâmica da água no solo e sua disponibilidade para as culturas.

Quanto ao Fluxo de Vapor, Rijtema (1971) descreve que o fluxo máximo de vapor de água é resultado da diferença de pressão de vapor entre dos pontos e o coeficiente de difusão do meio. Assim, o Fluxo de Vapor através da camada Mulch ($Fluxo_{Vapor_i}$, $cm.dia^{-1}$) pode ser descrito por:

$$Fluxo_{Vapor_i} = \frac{kAr_i * kMulchAr_i * \ell_{S_i} * (UR_{Mulch_i} - UR_{Ar_i})}{Z_{Mulch_i}} \quad (122)$$

em que Z_{Mulch_i}, a ser discutido na eq. (128), é a profundidade da camada Mulch nesse dia i, kAr_i é o coeficiente de difusão do vapor de água na atmosfera em função da temperatura em 24 horas (T_{24_i}, ºC), estimado por:

$$kAr_i = 2{,}38 + 0{,}0192 * T_{24_i} \quad (123)$$

$kMulchAr_i$ é a taxa de difusão entre a camada Mulch e a atmosfera em função da umidade da camada Mulch (Θ_{Mulch_i}, $cm^3.cm^{-3}$), a ser discutida pelas eq. (57) e (127), e da umidade de saturação do solo (Θ_{S_i}, $cm^3.cm^{-3}$) obtida pelas equações de pedotransferência, sendo estimada por:

$$k_{MulchAr_i} = 0{,}9 * (\theta_S - \theta_{Mulch_i}) - 0{,}1 \quad (124)$$

ℓ_S é a pressão de vapor saturada estimada pela eq. (86), UR_{Ar_i} é a Umidade Relativa medida na atmosfera e UR_{Mulch_i} é a Umidade relativa na camada Mulch, estimada pela eq. (125) de modo semelhante à eq. (120) em função do seu potencial de água (ψ_{Mulch_i}, cm) a ser discutido nas eq. (126) e (127).

$$UR_{Mulch_i} = \exp\left(\frac{\psi_{Mulch_i} * V}{R * (273 + T_{24_i})}\right) \quad (125)$$

Para determinar a umidade atual da camada Mulch, há que se considerar que o potencial de água na camada Mulch (ψ_{Mulch_i}, cm), em um dado dia i do calendário Juliano, está entre o potencial de água no solo (ψ_{Solo_i}, cm) e o potencial de água na atmosfera (ψ_{Ar_i}, cm), ou seja:

$$\psi_{Mulch_i} = \frac{\psi_{Solo_i} + \psi_{Atmosfera_i}}{2} \quad (126)$$

em que o potencial de água na atmosfera (ψ_{Ar_i}, cm), segundo Wylen, Sonntag e Borgnakke (1995), pode ser estimado considerando a massa molar da água (V, $kg.mol^{-1}$) e a constante universal dos gases (R, $J.mol^{-1}.K^{-1}$) por:

$$\psi_{Ar_i} = \frac{R * (273 + T_{24_i})}{V} * \ln(UR_{Ar_i}) \quad (127)$$

sendo a umidade relativa da atmosfera (UR_i) medida e a temperatura em 24 horas (T_{24_i}, ºC), estimada pela eq. (73) a partir das temperaturas máxima (T_{Max_i}, ºC) e mínima (T_{Min_i}, ºC) medidas no ar e na superfície do solo e corrigidas levando-se em conta o índice de área foliar da cultura, conforme discutido no tópico 3.3.2 e na eq. (83).

Calculando-se o potencial de água na camada Mulch (ψ_{Mulch_i}, cm) em um dado dia i do calendário Juliano, é possível estimar sua umidade (Θ_{Mulch_i}, $cm^3.cm^{-3}$), pela eq. (57), e sua condutividade hidráulica ($kMulch_i$), a qual também pode ser prevista pela eq. (68). No caso da condutividade hidráulica, considerando que o meio da camada Mulch, o solo, seja semelhante ao das camadas inferiores, é possível utilizar os mesmos valores de condutividade saturada (k0), apresentada na Tabela 6 e de umidades residual e de saturação, estimadas pelas equações de pedotransferência apresentadas nas eq. (7) a (56), empregados na estimativa da condutividade hidráulica do solo.

O fluxo de água para a superfície do solo é igual a evaporação máxima, apresentada na eq. (121), quando a camada Mulch deixa de existir, ou seja, o fluxo é diretamente proporcional à força, representada pela razão entre a sucção hidráulica e a distância, e inversamente proporcional à resistência representada pelos poros do solo (HURTADO, 2004). Assim, substituindo a força pela evaporação máxima (E_{Max_i}, $cm.dia^{-1}$) e a profundidade da camada Mulch (Z_{Mulch_i}, cm) pela distância em uma equação genérica de fluxo, é possível calcular a profundidade da camada Mulch, conforme apresentado na eq. (128), considerando, além desses parâmetros, a condutividade hidráulica da camada Mulch ($kMulch_i$) estimada pela eq. (68).

$$Z_{Mulch_i} = \frac{KMulch_i * (\psi_{Atmosfera_i} - \psi_{Solo_i})}{E_{Max_i}} \tag{128}$$

Conforme destacado, a camada Mulch interfere no suprimento de água para a camada do sistema radicular. Assim, a capacidade de suprimento de água (SuprimentoBruto, $cm.dia^{-1}$) pela camada Mulch em um dado dia i do calendário Juliano para as camadas inferiores, no caso a camada do sistema radicular (Z_{Raiz_i}, cm), é função da condutividade hidráulica do solo ($kSolo_i$) e da diferença entre os potenciais de água no solo (ψ_{Solo_i}, cm) e na camada Mulch (ψ_{Mulch_i}, cm), podendo ser estimada por:

$$SuprimentoBruto_i = \frac{k_{Solo_i} * (\psi_{Mulch_i} - \psi_{Solo_i})}{(Z_{Raiz_i} - Z_{Mulch_i})} \tag{129}$$

em que a profundidade do sistema radicular (Z_{Raiz_i}, cm) nesse dado dia i do calendário Juliano é função do desenvolvimento da planta discutido no tópico 3.3.4.

A profundidade da raiz (Z_{Raiz_i}, cm) variará diariamente entre a profundidade no dia de emergência da plântula ($ZMin_{Raiz}$, cm) e a profundidade máxima do sistema radicular em condições ideais de desenvolvimento ($ZMax_{Raiz}$, cm), apresentados na Tabela 7. Nesse caso, a variação diária do sistema radicular (ΔZ_{Raiz_i}, $cm.dia^{-1}$) pode ser estimada como função linear entre $ZMin_{Raiz}$ e $ZMax_{Raiz}$ relacionada aos Desenvolvimentos Relativos da Planta (DR_{Planta_i}) até o i-ésimo dia em que a Taxa de Alocação na Raiz (TA_{Raiz_i}) é nula ($DR_{MaxRaiz}$).

É preciso ter em mente que esse é o crescimento diário máximo do sistema radicular, o que pode não ocorrer em condições naturais; portanto, é conveniente estimar o crescimento segundo a alocação efetiva de fotoassimilados e a densidade do sistema radicular. Entretanto, segundo Grabarnik, Pagès e Bengough (1998) e Tardieu (1988), a densidade do sistema radicular em uma cultura é altamente variável segundo a oferta ambiental, notadamente quanto ao solo, o que instigou Chopart e Siband (1999) a estimar a variação do sistema radicular pela aplicação de fatores de restrição empíricos. Nesse caso, optou-se por aplicar o coeficiente hídrico do dia anterior, apresentado na eq. (117), à variação máxima do sistema radicular em um dado dia i do calendário Juliano, ou seja:

$$\Delta Z_{Raiz_i} = \left[\left(ZMax_{Raiz} - ZMin_{Raiz} \right) * \frac{DR_{Planta_i} - DR_{Planta_{i-1}}}{DR_{MAxRaiz}} \right] * kH_{i-1} \qquad (130)$$

até o dia em que a Taxa de Alocação na raiz é nula ($DR_{MaxRaiz}$), sendo que após esse dia a variação na profundidade da raiz é nula. Nesse caso não foram considerados a redução pela morte do sistema radicular após $DR_{MaxRaiz}$ e aspectos relacionados à propriedades físico-químicas do solo.

Comparando-se o Fluxo de Vapor e a capacidade de Suprimento Bruto de água na camada Mulch, pode-se inferir a evaporação diária de água da camada do sistema radicular. Assim, no caso de o Suprimento Bruto de água pela camada Mulch ($SuprimentoBruto_i$, $cm.dia^{-1}$), estimado pela eq. (129), ser maior que o Fluxo de Vapor ($Fluxo_{Vapor_i}$, $cm.dia^{-1}$) através dela, estimado pela eq. (122), a Evaporação (E_i, $cm.dia^{-1}$) será igual ao Fluxo de Vapor. Caso contrário, a evaporação será igual ao Suprimento de água ($Suprimento_i$, $cm.dia^{-1}$), respeitando-se o limite da evaporação máxima (E_{Max_i}, $cm.dia^{-1}$) estimada pela eq. (121). Se a camada Mulch deixar de existir, a Evaporação atual (E_i, $cm.dia^{-1}$) será igual à Evaporação Máxima (E_{Max_i}, $cm.dia^{-1}$).

O total de água na camada Mulch ($Agua_{Mulch_i}$, cm) ao final de um dado dia i do calendário Juliano corresponderá ao produto da profundidade dessa camada (Z_{Mulch_i}, cm) pela sua umidade (Θ_{Mulch_i}, $cm^3\ cm^{-3}$) acrescida de diferença entre qualquer precipitação pluvial ($Prec_i$, $cm.dia^{-1}$) que tenha ocorrido nesse dia e da respectiva evaporação, conforme demonstrado por:

$$Agua_{Mulch_i} = \left(Z_{Mulch_i} * \theta_{Mulch_i}\right) + \Pr ec_i - E_i \tag{131}$$

Assumindo que a camada Mulch absorva a água da superfície até sua umidade igualar a umidade da camada inferior e assim a camada Mulch deixar de existir, o suprimento efetivo diário de água à camada do sistema radicular é encontrado pela correção da água absorvida pela camada Mulch, ou seja, se o total de água na camada Mulch ($Agua_{Mulch_i}$, cm) for maior que o produto da umidade do solo (Θ_{Solo_i}, $cm^3.cm^{-3}$) pela profundidade da camada Mulch (Z_{Mulch_i}, cm), então, o suprimento efetivo de água ao sistema radicular ($SuprimentoLiquido_i$, $cm.dia^{-1}$) será dado por:

$$SuprimentoLiquido_i = Agua_{Mulch_i} - Z_{Mulch_i} * \theta_{Solo_i} \tag{132}$$

e a umidade da camada Mulch (Θ_{Mulch_i}, $cm^3.cm^{-3}$) será igual a umidade do solo (Θ_{Solo_i}, $cm^3.cm^{-3}$). Caso contrário, o suprimento efetivo de água ao sistema radicular ($SuprimentoLiquido_i$, $cm.dia^{-1}$) será nulo e a umidade da camada Mulch (Θ_{Mulch_i}, $cm^3.cm^{-3}$) será dada por:

$$\theta_{Mulch_i} = \frac{\theta_{Mulch_i} + \Pr ec_i - E_i}{Z_{Mulch_i}} \tag{133}$$

No caso de inexistência da camada Mulch, o suprimento efetivo de água ao sistema radicular ($SuprimentoLíquido_i$, $cm.dia^{-1}$) será igual à diferença entre a precipitação pluvial ($Prec_i$, $cm.dia^{-1}$) e a Evaporação (E_i, $cm.dia^{-1}$).

Da água adicionada ao sistema da cultura, neste caso considerou-se apenas a precipitação pluvial ($Prec_i$, $cm.dia^{-1}$), o Influxo da Água Armazenada na Superfície do Solo ($IAASS_i$, $cm.dia^{-1}$) e o Escorrimento superficial ($Escorrimento_i$, $cm.dia^{-1}$) diário, estimado em função do suprimento efetivo de água ao sistema radicular ($SuprimentoLiquido_i$, $cm.dia^{-1}$), da taxa de Infiltração ($Infiltração_i$, $cm.dia^{-1}$), do total de Água na Superfície do Solo (ASS_i, cm) e da Capacidade de Armazenamento de Água na Superfície ($CAAS_i$, cm).

A Infiltração ($Infiltração_i$, $cm.dia^{-1}$) é determinada pelas forças matricial e da gravidade. Neste caso, a sortividade (S0), apresentada na Tabela 6 para diferentes solos, expressa a taxa de absorção de água caso a força matricial fosse a única atuante. Stroosnijder (1976), citado por Veereken, Maes, Feyen e Darius (1976), demonstra que a sortividade (S_{Solo_i}) varia segundo a

umidade do solo, sendo que, em um dado dia do calendário Juliano, pode ser estimada em função da umidade do solo (Θ_{Solo_i}, $cm^3.cm^{-3}$), de acordo com:

$$S_{Solo} = S0 * \left(\frac{1 - \theta_{Solo_i}}{\theta_S} \right) \quad (134)$$

A influência da força mátrica sobre a taxa de Infiltração decresce no decorrer do processo, implicando que a força de adsorção torna-se desprezível e a taxa de Infiltração ($Infiltracao_i$, $cm.dia^{-1}$) aproxima-se da permeabilidade (k_{In}), apresentada na Tabela 6 para diferentes tipos de solo. Assim, segundo Veereken, Maes, Feyen e Darius (1976), a taxa diária de Infiltração ($Infiltracao_i$, $cm.dia^{-1}$) pode ser determinada por:

$$Infiltracao_i = S_{Solo_i} * 1^{-0,5} + k_{In} \quad (135)$$

A Capacidade de Armazenamento de Água na Superfície ($CAAS_i$, cm) expressa o total de água armazenado sobre a superfície do solo eq. (136), sendo conseqüência da declividade do local e da rugosidade da superfície; este último parâmetro é função da profundidade média dos sulcos na superfície (Z_{Sulco}, cm) e do ângulo da parede dos sulcos em relação ao plano da superfície (D_{Sulco}, º).

$$CAAS = 0,5 * Z_{Sulco} * \frac{Sen^2(D_{Sulco} - D_{Local})}{Sen(D_{Sulco})} * \frac{Co\tan(D_{Sulco} + D_{Local}) + Co\tan(D_{Sulco} - D_{Local})}{2 * Cos(D_{Sulco}) * Cos(D_{Local})} \quad (136)$$

Na maioria das áreas brasileiras o ângulo do sulco em relação ao plano da superfície (D_{Sulco}, º) está entre 30 a 45º, e sua profundidade (Z_{Sulco}, cm) é da ordem de três centímetros. Considerando a dificuldade na obtenção dessas informações para a estimativa da dinâmica da água no solo e que, segundo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (2005), terrenos com declividade superior a 20º não são adequados à produção de milho, o ângulo do sulco em relação ao plano da superfície (D_{Sulco}, º) da ordem de 40º e a sua profundidade (Z_{Sulco}, cm) de três centímetros, adotou-se o valor de 0,24 para a Capacidade de Armazenamento de Água na Superfície.

A partir das estimativas do suprimento efetivo de água ao sistema radicular ($SuprimentoLiquido_i$, $cm.dia^{-1}$), da taxa de Infiltração ($Infiltração_i$, $cm.dia^{-1}$) e da Capacidade de Armazenamento de Água na Superfície ($CAAS_i$, cm), o total diário de água na superfície do solo (ASS_i, cm) será dado pelo somatório da diferença entre o Suprimento efetivo de água ($SuprimentoLiquido_i$, $cm.dia^{-1}$) e a Infiltração ($Infiltração_i$, $cm.dia^{-1}$), ou seja,

$$ASS_i = ASS_{i-1} + (SuprimentoLiquido_i - Infiltracao_i) \quad (137)$$

e o Influxo da Água Armazenada na Superfície do Solo ($IAASS_i$, $cm.dia^{-1}$) será igual à Infiltração ($Infiltração_i$, cm.dia-1). Há que se considerar que Influxo da Água Armazenada na Superfície do Solo ($IAASS_i$, $cm.dia^{-1}$) não pode exceder a Água na Superfície do Solo (ASS_i, cm), o que acarretaria valor negativo de Água na Superfície do Solo (ASS_i, cm). Assim, caso $ASS < 0$, tem-se $IAASS = ASS_{i-1}$. Por outro lado, caso a Água na Superfície do Solo (ASS_i, cm) exceda a Capacidade de Armazenamento de Água na Superfície ($CAAS_i$, $cm.dia^{-1}$), haverá Escorrimento superficial ($Escorrimento_i$, $cm.dia^{-1}$) igual a

$$EscorrimentoS_i = ASS_i - CAAS \quad (138)$$

implicando que a Água na Superfície do Solo (ASS_i, cm) será igual à Capacidade de Armazenamento de Água na Superfície ($CAAS_i$, $cm.dia^{-1}$) nesse dado dia.

Conhecendo-se o suprimento efetivo de água ao sistema radicular ($SuprimentoLiquido_i$, $cm.dia^{-1}$), o Influxo da Água Armazenada na Superfície do Solo ($IAASS_i$, $cm.dia^{-1}$) e o Escorrimento superficial ($Escorrimento_i$, $cm.dia^{-1}$) diários é possível estimar o Fluxo de água na camada superior a do sistema radicular ($Fluxo_{Superior_i}$, $cm.dia^{-1}$), conforme representado na Figura 15, pela eq. (139).

$$Fluxo_{Superior_i} = SuprimentoLiquido_i + IAASS_i - Escorrimento_i \quad (139)$$

Quanto ao fluxo na camada inferior ao sistema radicular ($Fluxo_{Inferior_i}$, $cm.dia^{-1}$), conforme destacado, será considerada apenas a percolação, em razão das dificuldades na estimativa da ascensão capilar e da sua insignificância nos solos da região Centro-Sul do Brasil. No caso da percolação, Rijtema (1969) considera que ocorra quando a distância entre a camada do sistema radicular (Z_{Raiz_i}, cm) e o lençol freático (Z_{Lencol_i}, cm) forem maiores ou iguais ao potencial da água no solo (ψ_{Solo_i}, cm), ou seja, caso $\psi_{Solo_i} \leq \left(Z_{Lencol_i} - Z_{Raiz_i}\right)$ a percolação (Per_i, $cm.dia^{-1}$) será dada por:

$$Per_i = kSolo_i * \left(\frac{\psi_{Solo_i}}{Z_{Lencol_i} - Z_{Raiz_i}} \right) - 1 \quad (140)$$

considerando a condutividade hidráulica do solo ($kSolo_i$). No Caso da profundidade do lençol freático (Z_{Lencol_i}, cm), em razão da indisponibilidade dessa informação para os locais apresentados na Tabela 3, considerou-se a profundidade inicial igual a 1.000 centímetros.

Conhecendo-se o fluxo de água na camada superior à do sistema radicular ($Fluxo_{Superior_i}$, $cm.dia^{-1}$) e o Fluxo na camada Inferior ($Fluxo_{Inferior_i}$, $cm.dia^{-1}$), é possível retomar a discussão do coeficiente hídrico (kH_i) apresentado na eq. (117), destacando que as plantas somente atingirão a produção potencial caso o suprimento hídrico seja adequado para suprir a transpiração máxima (TAIZ; ZEIGER, 2004), especialmente no caso do milho, por tratar-se de espécie C4 (TAIZ; ZEIGER, 2004). Com suprimento de água inferior à transpiração máxima, as plantas reduzem sua transpiração e, conseqüentemente, a produção, na razão da disponibilidade hídrica (TAIZ; ZEIGER, 2004). Assim, faz-se necessário considerar a relação entre a taxa de Transpiração Máxima (TR_{Max_i}, $cm.dia^{-1}$) e a taxa de Transpiração (TR_i, $cm.dia^{-1}$) em um dado dia i do calendário Juliano.

Conforme destacado por Doorenbos (1994), Doorenbos e Pruitt (1975), Gifford e Evans (1981), Pereira, Villa Nova e Sediyama, (1997) e Stockle e Nelson (2005), existem vários métodos para a estimativa do coeficiente hídrico. Em geral esses métodos consideram a evapotranspiração - caso da equação de Penman–Monteith (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997) - para a estimativa da evapotranspiração de referência. Entretanto, há que se considerar que apenas a transpiração afeta o coeficiente hídrico (kH_i),; portanto, há necessidade de isolar as contribuições da evaporação e da transpiração. Neste caso, subtraindo-se o valor da Evaporação Máxima (E_{MAx_i}, $cm.dia^{-1}$), estimado pela eq. (121), da Evapotranspiração de referência (ET_{0_i}, $cm.dia^{-1}$), estimada pela eq. (84), obtém-se a taxa de Transpiração de Referência (TR_{0_i}, $cm.dia^{-1}$) da cultura, conforme apresentado na eq. (141).

$$TR_{0_i} = ET0_i - E_{Solo_i} * \exp(-7 * ke_i) \quad (141)$$

A Evaporação Máxima (E_{MAx_i}, $cm.dia^{-1}$), estimada pela eq. (121), considera o índice de área foliar (IAF_i, $cm^2.cm^{-2}$) e o suprimento hídrico para planta, ou seja, somente ocorrerá a máxima evaporação na cultura caso se verifique o IAF máximo e o adequado suprimento hídrico. Nesse caso, Vieira Junior (1999) sugere que o IAF para a máxima produção na cultura de milho é sete, valor utilizado na eq. (141).

Destacam Pereira, Villa Nova e Sediyama, (1997) e Stockle e Nelson (2005) que, além do índice de área foliar e do suprimento hídrico, a turbulência da atmosfera, afetada pela rugosidade do dossel, também altera a transpiração. Os efeitos da turbulência serão expressos por um coeficiente de turbilhonamento (kT_i) que varia entre zero a um. O valor máximo, um, ocorre

quando o escoamento é laminar, ou seja, com Índice de Área Foliar igual a zero. Após a emergência o coeficiente tende a zero, apresentando seu valor mínimo quando o índice de área foliar da cultura for máximo, ou seja, é possível estimar o coeficiente de turbilhonamento (kT) diário em função do Índice de Área foliar da cultura (IAF_i, $cm^2.cm^{-2}$) por:

$$kT_i = 1 + (kT_{Max} - 1) * (1 - \exp(-IAF_i * ke_i) \quad (142)$$

em que KT_{Max} refere-se ao coeficiente de turbilhonamento máximo e ke_i é o coeficiente de extinção da radiação no dossel em um dado dia i do calendário Juliano, assumindo-se que a exposição do dossel à radiação e aos demais fluxos da atmosfera têm desempenhos semelhantes. Quanto ao coeficiente de turbilhonamento máximo (kT_{Max}), Doorenbos (1994) sugere valores de 0,5, 0,9, 1,2 e 0,8 para o milho nos estádios iniciais de desenvolvimento (Estádio 1), vegetativo (Estádio 2 a 3), reprodutivo (Estádio 4 a 8) e próximo da maturidade fisiológica (Estádio 9 a 10), respectivamente.

A transpiração máxima de uma cultura (TR_{Max_i}, $cm.dia^{-1}$) pode ser estimada pela correção da transpiração de referência (TR_{0_i}, $cm.dia^{-1}$), estimada pela eq. (141), pela cobertura do solo e o fluxo não-laminar na atmosfera, conforme apresentado na eq. (143).

$$TR_{Max_i} = TR_{0_i} * (1 - \exp(-IAF_i * ke_i) * kT_i \quad (143)$$

A Transpiração atual (TR_i, $cm.dia^{-1}$) é conseqüência da diferença dos potenciais da água no solo e na atmosfera, considerando ainda as resistências que os órgãos da planta representam ao fluxo de água. Nesse caso, considerando Heemst (1986), Kiniry (1991) e Nickell (1983) e Stockle e Nelson (2005), as resistências mais importantes são as representadas pela raiz, que pode ser estimada em função da profundidade do sistema radicular (Z_{Raiz_i}, cm) e condutividade hidráulica do solo ($kSolo_i$) por meio de:

$$\text{Re}sistencia_{Raiz_i} = \frac{13}{Z_{Raiz_i} * kSolo_i} \quad (144)$$

e pelo somatório das resistências diárias do colmo e das folhas, ou resistência da parte aérea ($Re_{Aérea_i}$), apresentada na eq. (145), estimada em função do potencial de água na folha (ψ_{Folha}, cm), considerado, neste caso, igual a 17.000 cm.

$$\text{Re}sistencia_{Aerea_i} = 680 + 0{,}53 * \psi_{Folha} \quad (145)$$

Assim, a diferença de potenciais ($\Delta\psi_{SoloAr_i}$, cm) que irá orientar o processo e representará a Transpiração diária da cultura (TR_i, $cm.dia^{-1}$) é dada pela eq. (146). Entretanto, há que se

considerar que a Transpiração diária (TR_i, $cm.dia^{-1}$) considerada na eq. (117) para a estimativa do coeficiente hídrico (kH_i) diário será, no máximo, igual à Transpiração Máxima estimada pela eq. (143).

$$\Delta\psi_{SoloAr_i} = \frac{\psi_{Ar_i} - \psi_{Solo_i}}{\mathrm{Re}\,sistencia_{Raiz_i} + \mathrm{Re}\,sistencia_{Aereo_i}} \tag{146}$$

Quando a umidade do solo (Θ_{Solo_i}, $cm^3.cm^{-3}$) for maior que 0,99 da umidade de saturação (Θ_{S_i}, $cm^3.cm^{-3}$) e menor que 1,01 da umidade residual (Θ_{R_i}, $cm^3.cm^{-3}$), a Transpiração diária (TR_i, $cm.dia^{-1}$) será nula. Já, quando a umidade do solo (Θ_{Solo_i}, $cm^3.cm^{-3}$) variar entre 0,94 a 0,99 da umidade de saturação, Campbell (1985) e Rijtema (2005) consideram que a planta de milho sofrerá estresse por encharcamento, sendo a Transpiração diária da cultura (TR_i, $cm.dia^{-1}$) estimada pela eq. (147).

$$TR_i = TR_{Max_i} * \frac{\left(\theta_S * 0{,}96 - \theta_{Solo_i}\right)}{\theta_S * 0{,}96} \tag{147}$$

Retomando a eq. (118), é possível estimar a nova umidade do solo ao final de um dado dia i do calendário Juliano por:

$$\theta_{Raiz_i} = \theta_{Raiz_{i-1}} + \frac{Fluxo_{Superior_i} + Per_i - TR_i}{Z_{Raiz\,i}} \tag{148}$$

considerando o fluxo de água na camada superior a percolação e a transpiração diária.

3.4 Estimativa e previsão do rendimento de grãos de milho

De acordo com Caixeta Filho (2001), modelos são representações idealizadas para situações do mundo real; assim, uma etapa importante do seu desenvolvimento é a verificação do processo de modelagem na descrição da realidade.

Em sistemas agrícolas, as relações entre os componentes são complexas; assim, para a melhor compreensão destas relações, são desenvolvidos modelos, denominados genericamente modelos de cultura (WIT; GOUDRIAAN, 1978), recursos que têm sido usados para quantificar a produtividade potencial em diferentes ambientes e que, geralmente, descrevem o desenvolvimento e a produtividade da cultura em áreas homogêneas sob determinadas condições climáticas (KROPFF et al., 1995).

Para os propósitos da presente Tese, foi desenvolvido um sistema computacional em Visual Basic®, considerando o modelo de cultura descrito no tópico 3.3, para estimar o rendimento de grãos de milho na região Centro-Sul do Brasil, a partir dos parâmetros climáticos diários de radiação incidente ($J.m^{-2}.s^{-1}$), precipitação pluvial (cm), temperatura máxima e mínima na atmosfera (ºC), temperatura máxima e mínima na superfície do solo (ºC) e umidade relativa do ar, além dos teores (%) de areia grossa, areia fina, silte, argila e carbono no solo. Observa-se que este modelo estimará o rendimento de grãos de milho máximo dado às condições ambientais descritas pelos parâmetros climáticos em questão; portanto, não considera outros estresses a que a cultura seja submetida.

Para a verificação da precisão e da acurácia do modelo de cultura foram simulados os rendimentos de grão de milho, doravante denominados rendimentos estimados (RE_{Medido}, $kg.ha^{-1}$), nos locais apresentados na Tabela 3, considerando os parâmetros climáticos diários de radiação incidente ($J.m^{-2}.s^{-1}$), precipitação pluvial (cm), temperatura máxima e mínima na atmosfera (ºC), temperatura máxima e mínima na superfície do solo (ºC) e umidade relativa do ar, medidos pelas instituições apresentadas na Tabela 5 entre os dias 16 de Julho de 1997 a 15 de Junho de 2002. No caso dos locais que não dispunham de medidas de temperatura na superfície do solo, estas foram consideradas iguais às respectivas medidas diárias de temperatura na atmosfera.

Como para a Previsão de Safras devem ser consideradas as previsões dos parâmetros climáticos necessários à simulação do rendimento de grãos de milho, também foram simulados os rendimentos de grão de milho, doravante denominados rendimento previsto (RP, $kg.ha^{-1}$), para os mesmos locais, utilizando-se os parâmetros climáticos diários de radiação incidente ($J.m^{-2}.s^{-1}$),

precipitação pluvial (cm), temperatura máxima e mínima na atmosfera (ºC), temperatura máxima e mínima na superfície do solo (ºC) e umidade relativa do ar previstos pelo modelo Eta.

No caso da simulação do rendimento de grãos de milho com os parâmetros climáticos previstos pelo modelo Eta, foram selecionadas as previsões geradas pelo modelo Eta com 30 dias de antecedência nos 30 dias subseqüentes, inclusive às datas de semeadura apresentadas na Tabela 10. Entre os trigésimos primeiros a sexagésimos dias contados desde as datas de semeadura, foram selecionadas previsões dos parâmetros climáticos geradas pelo modelo Eta com 60 dias de antecedência, e assim sucessivamente, às previsões geradas com 90 e 120 dias de antecedência até as datas de colheita apresentadas na Tabela 10.

Nos locais em que o período entre a data de semeadura e a data da colheita era maior que 120 dias, foram consideradas as previsões geradas com 120 dias de antecedência para os dias excedentes a 120 dias. Esse procedimento, embora inadequado aos propósitos da Previsão de Safras, foi necessário em razão de que a disponibilidade dos computadores do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) era incompatível com o período necessário para a geração de parâmetros climáticos pelo modelo Eta.

Com relação aos parâmetros do solo requeridos pelo modelo de cultura e descritos no tópico 3.3.1 (teores, em %, de areia grossa, areia fina, silte, argila e carbono) considerando as coordenadas (Latitude e Longitude) dos locais apresentados na Tabela 10, foram selecionadas as informações, apresentadas na Tabela 11, cujas coordenadas do banco de dados disponibilizado por Cooper et al. (2005) fossem mais próximas.

Um dos métodos mais utilizados para a realização do que se chama de teste empírico do modelo é a comparação entre os dados reais e os dados simulados pela análise da diferença entre valores simulados e observados; o procedimento apresenta uma série de vantagens em relação à simples comparação de dados reais com dados simulados. Para que tal técnica faça sentido são necessárias algumas considerações, tais como: quais variáveis serão testadas e quais os níveis de precisão aceitáveis para as variáveis. No teste do modelo, também devem ser considerados os erros envolvidos nos dados reais (COSTA, 1997).

A despeito da inferência de que os ensaios são realizados de modo a expressar o rendimento potencial, deve-se considerar a inevitável ocorrência de estresses, os quais comprometem a expressão do rendimento potencial; portanto, dos resultados dos ensaios

disponíveis em Embrapa Milho e Sorgo (2005b), foram elencados aqueles cujos coeficientes de variação eram menores que 10%, índice tido como adequado por Campos (1983) e Costa (1997).

Dos ensaios selecionados, foram computados os rendimentos de grãos dos germoplasmas mais e menos produtivos como o rendimento medido máximo (RM_{Max}, $kg.ha^{-1}$) e mínimo (RM_{Min}, $kg.ha^{-1}$) possíveis naquele ambiente, enquanto que o rendimento médio do ensaio foi considerado o rendimento medido médio (RM_{Med}, $kg.ha^{-1}$) para aquele ambiente.

Os rendimentos de grão de milho estimados pelo modelo de cultura com valores medidos dos parâmetros climáticos (RE, $kg.ha^{-1}$) e os rendimentos de grão de milho previstos pelo modelo de cultura com parâmetros climáticos previstos pelo modelo Eta (RP, $kg.ha^{-1}$) foram comparados aos respectivos rendimentos do Ensaio Nacional de Milho, apresentados na Tabela 12.

Uma vez que o modelo de cultura proposto no tópico 3.3 considera apenas variações relativas aos parâmetros climáticos e não leva em conta outros estresses bióticos e abióticos a que os ensaios possam ter sido submetidos, pode-se inferir que o rendimento de grãos de milho estimado deverá ser igual ou superior aos rendimentos máximos medidos (RM_{Max}, $kg.ha^{-1}$). Assim, para a verificação da precisão e da acurácia do modelo de cultura, respectivamente quanto ao local e à safra, foram calculadas as razões entre os rendimentos de grão de milho estimados pelo modelo de cultura a partir dos parâmetros climáticos medidos (RE, $kg.ha^{-1}$) e os rendimentos máximos medidos (RM_{Max}, $kg.ha^{-1}$). Também foram calculadas as razões entre os rendimentos de grão de milho simulados com as previsões dos parâmetros climáticos realizadas pelo modelo Eta (RP, $kg.ha^{-1}$) e os rendimentos máximos medidos (RM_{Max}, $kg.ha^{-1}$), para a verificação da acurácia e da precisão da previsão dos rendimentos de grãos de milho.

Os ensaios estão submetidos a estresses não considerados pelo modelo de culturas, os quais podem reduzir em até 10% o rendimento de grãos em relação ao rendimento potencial; este é um parâmetro arbitrário; assim, nos casos em que as diferenças relativas entre os rendimentos estimados (RE, $kg.ha^{-1}$), ou os rendimentos previstos (RP, $kg.ha^{-1}$), com os respectivos rendimentos máximos medidos (RM_{Max}, $kg.ha^{-1}$) variou entre a unidade e 1,09, a diferença relativa foi considerada como não significativa (Tabela 9).

Segundo Affholder (1997), Assis (2004), Boote, Jones e Pickering (1996), Brunini et al. (1982), Costa (1997), Duarte e Paterniani (2000), Figueredo Júnior (2004) e Rodrigues e Assad (1997), são aceitáveis variações de até ±20% na estimativa do rendimento de grãos de milho por modelos de cultura. Desta forma, foram aceitos como precisos os rendimentos estimados (RE,

kg.ha^{-1}) e previstos (RP, kg.ha^{-1}) cuja diferença relativa variou entre 1,11 e 1,30, denominados pouco superestimados.

Nos casos em que a diferença relativa variou entre 0,90 e 0,99, a diferença relativa foi tida como não significativa, com tendência a subestimativa, desde que o rendimento estimado, ou o rendimento previsto, tenha sido maior que o rendimento médio medido (RM_{Med}, kg.ha^{-1}). Para os demais valores das diferenças relativas, considerou-se a classificação apresentada na Tabela 9, reiterando-se que, em todos os casos em que o rendimento estimado (RE, kg.ha^{-1}), ou previsto (RP, kg.ha^{-1}), foi menor do que o rendimento médio medido, a diferença relativa foi considerada muito subestimada.

Quanto ao ciclo da cultura, observa-se que alguns dos valores medidos, a exemplo de 212 dias em Limeira na safra 2000/01, o ciclo extrapolou os valores considerados adequados por Duarte e Paterniani (2000), Embrapa Milho e Sorgo (2005a) e Vieira Junior (1999) para germoplasmas de ciclo precoce na região Centro-Sul do Brasil. Uma vez que esses autores sugerem um ciclo máximo de 150 dias para germoplasmas de milho do ciclo precoce na região Centro-Sul do Brasil, os valores medidos no Ensaio Nacional de Milho (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2005b) indicam que esses ensaios foram colhidos após a data do ponto de colheita, quando os frutos apresentam teor de água próximo a 14%, prática comum entre agricultores da região, segundo Embrapa Milho e Sorgo (2005b) e Fancelli e Dourado Neto (1997). Assim, somente foram comparados os ciclos estimados pelo modelo de cultura, utilizando parâmetros climáticos medidos, e os ciclos previstos pelo modelo de cultura, utilizando parâmetros climáticos previstos pelo modelo Eta, aos respectivos ciclos medidos quando se fez necessário para entendimento dos resultados, desde que o ciclo medido fosse inferior a 150 dias.

Tabela 9 – Classificação das diferenças relativas entre os rendimentos estimados de grãos de milho (RE, $kg.ha^{-1}$), ou previstos (RP, $kg.ha^{-1}$), com os respectivos rendimentos máximos medidos de grãos de milho nos Ensaios Nacionais de Milho safra normal em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil durante as safras 1997/98 a 2001/02

Classe	**Variação da diferença relativa**	**Observação**
Muito superestimada	Igual ou maior a 1,51	
Superestimada	Entre 1,31 a 1,50	
Pouco superestimada	Entre 1,11 a 1,30	
Não significativa	Entre 1,01 a 1,10	
Muito pouco subestimada	Entre 0,91 a 1,00	
Pouco subestimada	Entre 0,71 a 0,90	
Subestimada	Entre 0,51 a 0,70	
Muito subestimada	Igual ou menor a 0,50	Sempre que o rendimento estimado, ou previsto, for menor que o rendimento médio medido.

Tabela 10 – Datas de semeadura (Sem), de colheita (Col) e ciclo da cultura em dias (Ciclo) dos Ensaios Nacionais de Milho safra normal em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil durante as safras 1997/98, 1998/99, 1999/00, 2000/01 e 2001/02

(continua)

Local	Safra 1997_98			Safra 1998_99			Safra 1999_00		
	Sem	Col	Ciclo	Sem	Col	Ciclo	Sem	Col	Ciclo
Barreiras	-	-	-	06/11/98	14/05/99	188	01/12/99	22/06/00	201
Brasília	-	-	-	09/11/98	21/05/99	192	18/11/99	27/04/00	159
Goianésia	-	-	-	-	-	-	17/11/99	26/03/00	129
Goiânia	-	-	-	10/11/98	15/04/99	155	20/10/99	10/05/00	200
Itumbiara	22/11/97	30/03/98	128	01/12/98	10/04/99	129	26/11/99	30/03/00	124
Porangatu	-	-	-	04/12/98	29/04/99	145	03/12/99	10/04/00	127
Rio Verde	-	-	-	27/11/98	28/04/99	151	08/11/99	23/03/00	135
Campo Grande	-	-	-	17/12/98	04/05/99	137	-	-	-
Capinópolis	24/11/97	31/03/98	127	02/12/98	28/04/99	146	22/11/99	23/03/00	121
Janaúba	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lavras	14/11/97	25/04/98	161	04/11/98	29/03/99	145	01/11/99	19/04/00	168
Paracatu	01/12/97	05/05/98	154	-	-	-	-	-	-
Patos	-	-	-	10/11/98	29/04/99	169	11/11/99	07/04/00	146
Sete Lagoas	-	-	-	03/11/98	20/05/99	197	10/11/99	23/03/00	133
Uberlândia	-	-	-	18/10/98	09/03/99	141	22/11/99	08/04/00	136
Viçosa	-	-	-	18/11/98	21/04/99	153	29/10/99	18/03/00	139
Cravinhos	29/11/97	01/04/98	122	17/11/98	25/03/99	128	08/12/99	09/04/00	121
Guaíra	-	-	-	16/11/98	14/04/99	148	16/12/99	09/05/00	143
Limeira	-	-	-	16/11/98	05/03/99	109	12/12/99	10/04/00	118
Manduri	-	-	-	04/11/98	05/04/99	151	16/12/99	19/05/00	153
Piracicaba	23/11/97	20/04/98	147	17/11/98	08/04/99	141	13/12/99	15/05/00	152
Cascavel	03/11/97	14/04/98	161	21/10/98	22/04/99	181	07/12/99	09/05/00	152
Londrina	-	-	-	01/11/98	24/04/99	173	-	-	-
Palotina	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 10 – Datas de semeadura (Sem), de colheita (Col) e ciclo da cultura em dias (Ciclo) dos Ensaios Nacionais de Milho safra normal em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil durante as safras 1997/98, 1998/99, 1999/00, 2000/01 e 2001/02

(conclusão)

Local	Safra 2000_01			Safra 2001_02		
	Sem	Col	Ciclo	Sem	Col	Ciclo
Barreiras	20/12/00	22/06/01	182	-	-	-
Brasília	01/12/00	09/05/01	158	07/12/01	16/04/02	129
Goianésia	-	-	-	02/11/01	11/01/02	69
Goiânia	15/11/00	17/04/01	152	12/11/01	11/04/02	149
Itumbiara	10/11/00	20/03/01	130	-	-	-
Porangatu	05/12/00	25/04/01	140	08/11/01	19/03/02	131
Rio Verde	-	-	-	-	-	-
Campo Grande	-	-	-	08/11/01	10/04/02	152
Capinópolis	17/11/00	12/03/01	115	-	-	-
Janaúba	06/12/00	10/04/01	124	-	-	-
Lavras	15/11/00	31/05/01	196	-	-	-
Paracatu	13/12/00	05/05/01	142	-	-	-
Patos	10/11/00	12/04/01	152	18/12/01	15/05/02	147
Sete Lagoas	12/12/00	15/04/01	123	19/10/01	07/04/02	168
Uberlândia	24/10/00	10/03/01	136	25/10/01	24/02/02	119
Viçosa	25/11/00	22/04/01	147	16/10/01	24/03/02	158
Cravinhos	-	-	-	-	-	-
Guaíra	17/11/00	20/04/01	153	16/11/01	05/04/02	139
Limeira	13/11/00	15/06/01	212	09/10/01	09/03/02	150
Manduri	09/11/00	04/04/01	145	25/10/01	15/03/02	140
Piracicaba	08/11/00	10/04/01	152	-	-	-
Cascavel	-	-	-	10/10/01	15/03/02	155
Londrina	06/12/00	10/05/01	154	24/10/01	28/03/02	154
Palotina	27/10/00	04/04/01	157	-	-	-

Fonte: Embrapa Milho e Sorgo (2005a).

Tabela 11 – Coordenadas geográficas, latitude (Lat, ºS) e longitude (Long, ºW), e os teores (%) no solo de areia grossa, areia fina, silte, argila e carbono dos locais mais próximos aos 24 locais selecionados no Ensaio Nacional de Milho

Local	Lat. (ºS)	Long. (ºW)	Areia Grossa (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	Carbono (%)
Barreiras	12,13	47,59	26,40	65,50	2,90	5,20	0,45
Brasília	15,46	48,29	24,60	38,20	20,80	16,40	0,73
Goianésia	15,13	59,02	27,60	24,10	15,10	33,20	1,89
Goiânia	16,36	49,59	14,20	30,70	20,90	34,20	1,59
Itumbiara	18,24	48,15	9,80	51,50	0,60	38,10	2,10
Porangatu	13,26	48,07	38,30	40,50	10,20	11,00	1,20
Rio Verde	17,34	50,25	4,50	20,20	38,30	37,00	0,60
Campo Grande	20,17	56,05	13,00	41,00	24,00	22,00	0,66
Capinópolis	18,42	48,31	10,80	20,80	13,50	54,90	2,00
Janaúba	15,50	42,13	1,80	14,50	18,00	65,70	1,24
Lavras	21,25	42,12	12,00	20,00	8,00	60,00	2,79
Paracatu	17,12	49,08	16,60	36,40	12,70	34,30	0,32
Patos	18,42	47,31	9,80	51,50	0,60	38,10	2,10
Sete Lagoas	19,3	46,24	15,60	62,20	2,20	20,00	0,18
Uberlândia	18,24	48,15	9,80	60,50	0,60	29,10	2,10
Viçosa	21,02	44,30	9,00	18,00	14,00	59,00	0,43
Cravinhos	21,12	47,53	5,20	25,20	15,70	53,90	0,28
Guaíra	20,15	47,25	6,00	20,00	12,00	62,00	2,27
Limeira	22,34	47,07	7,00	21,00	12,00	60,00	0,39
Manduri	23,05	47,57	8,00	18,00	24,00	50,00	2,22
Piracicaba	22,34	47,07	10,00	20,00	7,00	60,00	0,69
Cascavel	24,58	52,53	4,00	4,00	29,00	63,00	1,96
Londrina	23,20	51,50	6,00	7,00	20,00	67,00	0,34
Palotina	24,22	52,49	3,00	3,00	21,00	73,00	0,90

Fonte: Cooper et al. (2005).

Tabela 12 – Rendimentos de grãos de milho máximos (RM_{Max}, kg.ha^{-1}), médios (RM_{Med}, kg.ha^{-1}) e mínimos (RM_{Min}, kg.ha^{-1}) dos Ensaios Nacionais de Milho safra normal em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil durante as safras 1997/98 a 2001/02

(continua)

Local	Safra 1997_98			Safra 1998_99			Safra 1999_00		
	RM_{Max}	RM_{Med}	RM_{Min}	RM_{Max}	RM_{Med}	RM_{Min}	RM_{Max}	RM_{Med}	RM_{Min}
Barreiras	-	-	-	10.152	8.092	6.465	9.411	6.984	4.687
Brasília	-	-	-	14.125	11.888	6.873	14.415	12.051	7.838
Goianésia	-	-	-	-	-	-	10.228	7.113	3.639
Goiânia	-	-	-	8.956	7.088	5.156	11.499	8.729	5.250
Itumbiara	9.219	7.511	4.139	5.238	3.734	2.104	7.655	5.644	3.364
Porangatu	-	-	-	-	-	-	8.473	6.953	3.512
Rio Verde	-	-	-	11.218	9.020	7.627	10.249	8.519	7.011
Campo Grande	-	-	-	7.616	5.807	4.159	-	-	-
Capinópolis	7.383	5.719	3.813	6274	5.125	3.781	7.942	6.678	4.964
Janaúba	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lavras	11.369	8.532	2.307	9.308	7.545	5.073	10.491	7.817	5.145
Paracatu	8.048	5.917	2.699	-	-	-	-	-	-
Patos	-	-	-	13.573	11.782	8.686	10.228	7.628	4.914
Sete Lagoas	-	-	-	11.528	9.152	7.652	11.428	9.169	6.955
Uberlândia	-	-	-	8.624	6.598	4.516	8.048	4.998	3.216
Viçosa	-	-	-	11.711	10.199	8.255	8.446	6.152	3.479
Cravinhos	10.992	8.482	6.208	9.505	6.251	3.518	5.062	7.498	9.083
Guaíra	-	-	-	8.804	7.005	5.076	6.793	5.135	3.060
Limeira	-	-	-	8.305	4.853	1.954	8.684	5.198	2.877
Manduri	-	-	-	8.100	6.078	3.305	7.474	5.488	1.008
Piracicaba	9.305	6.817	3.010	9.536	7.621	6.031	10.133	8.469	4.835
Cascavel	10.793	7.709	4.567	9.986	8.038	6.688	9.618	7.711	5.988
Londrina	-	-	-	10.439	8.245	5.149	-	-	-
Palotina	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 12 – Rendimentos de grãos de milho máximos (RR_{Max}, $kg.ha^{-1}$), médios (RR_{Med}, $kg.ha^{-1}$) e mínimos (RR_{Min}, $kg.ha^{-1}$) dos Ensaios Nacionais de Milho safra normal em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil durante as safras 1997/98 a 2001/02

(conclusão)

Local	**Safra 2000_01**			**Safra 2001_02**		
	RM_{Max}	**RM_{Med}**	**RM_{Min}**	**RM_{Max}**	**RM_{Med}**	**RM_{Min}**
Barreiras	6.001	3.801	1.842	-	-	-
Brasília	13.723	11.241	7.828	11.371	8.725	4.320
Goianésia	-	-	-	7.403	5.830	2.513
Goiânia	6.850	4.984	2.174	9.400	7.598	4.850
Itumbiara	8.141	6.652	3.075	-	-	-
Porangatu	7.832	5.972	4.018	7.411	5.754	2.414
Rio Verde	-	-	-	-	-	-
Campo Grande	-	-	-	9.020	7.093	3.662
Capinópolis	9.299	7.751	5.315	-	-	-
Janaúba	9.169	7.599	4.656	-	-	-
Lavras	10.324	8.714	5.183	-	-	-
Paracatu	10.842	8.305	5.480	-	-	-
Patos	8.653	6.716	4.337	9.036	5.619	3.167
Sete Lagoas	9.213	6.815	3.219	12.785	10.028	5.809
Uberlândia	8.011	6.026	3.534	7.229	4.873	1.845
Viçosa	11.638	6.678	3.027	7.010	5.955	4.011
Cravinhos	-	-	-	-	-	-
Guaíra	4.952	3.708	953	8.837	5.965	2.496
Limeira	9.265	7.162	3.151	9.102	7.624	5.792
Manduri	7.836	6.590	4.435	9.392	7.996	3.165
Piracicaba	8.376	5.835	1.952	-	-	-
Cascavel	-	-	-	12.641	11.263	9.350
Londrina	9.709	7.692	3.906	15.391	12.573	7.768
Palotina	8.219	6.902	5.280	-	-	-

Fonte: Embrapa Milho e Sorgo (2005a).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando-se a disposição geográfica dos locais considerados (Figura 14), é possível inferir um eixo com orientação sul a nordeste, em que Cascavel, no Paraná, é o ponto extremo sul e Barreiras, na Bahia, é o ponto extremo nordeste. Esse eixo delimita desvios para leste e oeste, tendo Viçosa e Campo Grande como pontos extremos, respectivamente. Uma vez que, neste caso, o clima é o principal fator sobre o rendimento de grãos de milho estimado pelo modelo de culturas, é preciso levar em conta os climas das regiões Sul e Nordeste do Brasil, incluindo a região Centro-Oeste.

O clima da região Sul é caracterizado mais pela diferença de temperatura entre as estações do ano do que pela variação na precipitação pluvial (ANDRADE; CAVALCANTI, 2005), enquanto que os climas das regiões Centro-Oeste e Nordeste apresentam regimes de chuva bastante distintos segundo as estações do ano (ALVES; REPELLI, 1992; AYOADE, 1996).

Os regimes de precipitação pluvial são determinados, principalmente, pelo deslocamento de frentes na região Sul (ANDRADE; CAVALCANTI, 2005), ao passo que nas regiões Centro-Oeste e Nordeste sofrem maior contribuição da Zona de Convergência Intertropical (AYOADE, 1996), além da Zona de Convergência do Atlântico Sul no caso do Nordeste (ALVES; REPELLI, 1992). Na região Centro-Oeste predomina um regime próximo ao das monções asiáticas, descrito pelas diferenças de radiação em função do movimento solar e influenciado também pelos atributos do solo, da topografia e da cobertura vegetal. No caso da América do Sul, esse regime se distingue das monções asiáticas pela ausência da reversão de ventos na baixa troposfera, minimizando assim efeitos remotos sobre o clima da região (ZHOU; LAU, 1997).

Nesse contexto, o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul tem sido objeto de muitas pesquisas, havendo consenso sobre seu efeito nas regiões Sul e Nordeste do Brasil. Assim, a análise dos parâmetros climáticos nos locais considerados nesse trabalho deve se pautar pelas principais características e determinantes climáticos das regiões Sul, Nordeste e Centro-Oeste, bem como, suas interações com o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul.

A questão da estimativa do rendimento de grãos de milho, assim bem como sua previsão considerando os parâmetros climáticos estimados pelo modelo Eta, ou seja, a Previsão da Safra de Milho, também deve ser pautada pelos principais determinantes do clima nas citadas regiões, objeto dos tópicos descritos a seguir.

4.1 *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) na região Centro-Sul do Brasil

Conforme destacado por Kessler, Rothstein e Chen (1997), as anomalias climáticas extremas, tais como a seca prolongada e a precipitação pluvial excessiva, relacionadas às variações na temperatura sobre o Oceano Pacífico Leste e sobre o Oceano Pacífico na região da Indonésia, denominado Índice de Oscilação Sul (IOS),têm sido consistentemente estudadas. Essas anomalias são decorrentes da interação entre a atmosfera e o oceano; entretanto, como também sofrem o efeito de outros condicionantes, notadamente a localização geográfica, os autores sugerem estudos mais aprofundados sobre as ocorrências do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) no clima local.

Uma das primeiras associações entre a precipitação pluvial e o Índice de Oscilação Sul (IOS) foi realizada por Walker (WALKER, 1923), que observou precipitação pluvial menor que a normal na Índia e Indonésia, incluindo o norte da Austrália, durante a fase negativa do IOS. Walker (1928), Caviedes (1973) e Hastenrath e Heller (1977), já há mais de duas décadas, demonstraram que a seca na região Nordeste do Brasil no período entre os meses de Março a Maio está associada à fase positiva do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul, ou seja, a ocorrência de *El Niño*. Nesse caso, a ocorrência do fenômeno *El Niño* inibe o deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCI), principal responsável pela precipitação pluvial na região Nordeste do Brasil. A fase negativa do IOS, *La Niña*, exerce efeito contrário sobre a ZCI, favorecendo precipitação pluvial acima da normal entre os meses de Março a Maio, pois eventos *La Niña* ampliam o deslocamento da ZCI, enquanto eventos *El Niño* a restringem (NOBRE; SHUKLA, 1996).

Também há muito tempo a ocorrência dos fenômenos *El Niño* e *La Niña* está relacionada ao regime de chuvas durante a primavera na região Sul do Brasil, notadamente no mês de Novembro. Ainda nessa região existem fortes evidências da relação entre precipitações pluviais acima da normal durante o inverno e a fase positiva do Índice de Oscilação Sul (GRIMM; BARROS; DOYLE, 1999; STRETEN, 1983). Grimm, Ferraz e Gomes (1997) observaram que as mesoregiões paranaenses Norte, aqui representada por Londrina, e Oeste, nesse caso representada por Cascavel e Palotina, apresentam aumento significativo da precipitação pluvial durante eventos *El Niño* nos meses de Junho, Julho e entre Novembro a Janeiro. Entretanto, os autores não observaram alterações significativas no regime de chuvas durante os eventos *La Niña*, o que não exclui a possibilidade de que o evento afete o clima dessas regiões.

No presente estudo não foi observado valor p significativo para Guaíra, em São Paulo, e Rio Verde, em Goiás (Figura 16 e Figura 17), o que não implica a inexistência de efeito do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) sobre o regime de chuvas desses locais, pois, a princípio o sinal não significativo entre os eventos ENSO e o regime de chuvas ali locais pode ser atribuído à serie estudada, entre 1960 e 2000. Entretanto, há que se considerar que a série estudada contém os mais fortes eventos *El Niño* e *La Niña* ocorridos no último século, nos anos de 1974 e 1983, respectivamente, o que sugere que a metodologia estatística empregada pode não ter captado as relações entre os regimes de chuva locais e os eventos ENSO, sugerindo a realização de estudos mais detalhados nesses locais.

As demais localidades abordadas neste estudo apresentaram valor p significativo entre o regime de chuvas e os fenômenos *El Niño* Oscilação Sul (ENSO). Nesse caso, destacam-se Barreiras, a menor freqüência do regime de chuvas mensal relacionado aos eventos ENSO, além de Itumbiara e Campo Grande, maiores freqüências do regime de chuvas mensal relacionado aos eventos ENSO (Tabela 13). Quando considerados todos os locais, observou-se maior e menor freqüência de sinal significativo nos meses de Janeiro e Março, respectivamente (Figura 16, Figura 17 e Tabela 13). A maior freqüência no mês de Janeiro é coerente com as observações de Figueroa e Nobre (1990), Nobre e Shukla (1996) e Walker (1923), fato atribuído ao deslocamento da Zona de Convergência Intertropical e, mais recentemente, à Zona de Convergência do Atlântico Sul, o que, de modo geral, implica a ênfase do monitoramento e previsão do fenômeno ENSO nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro para a previsão do regime de chuvas subseqüente.

Embora Janeiro apresente a maior freqüência, as maiores diferenças relativas ocorreram no mês de Agosto (Tabela 14), o que não deve ser considerado por terem ocorrido em Brasília e Goiânia durante suas estações secas. Assim, as maiores diferenças relativas (Tabela 14), nos meses com valor p significativo, ocorreram em Viçosa (9,55 e 6,31) nos meses de Junho e Agosto, Lavras, em Minas Gerais (6,26) no mês de Setembro e Piracicaba, em São Paulo (6,21) no mês de maio, ou seja, há uma concentração no período de inverno, fato coerente com a redução na precipitação pluvial nesse período em regiões tropicais, mas que indica a necessidade de estudos mais regionalizados, conforme descrito nos tópicos a seguir, em que os locais estão agrupados por estado apenas por questões didáticas.

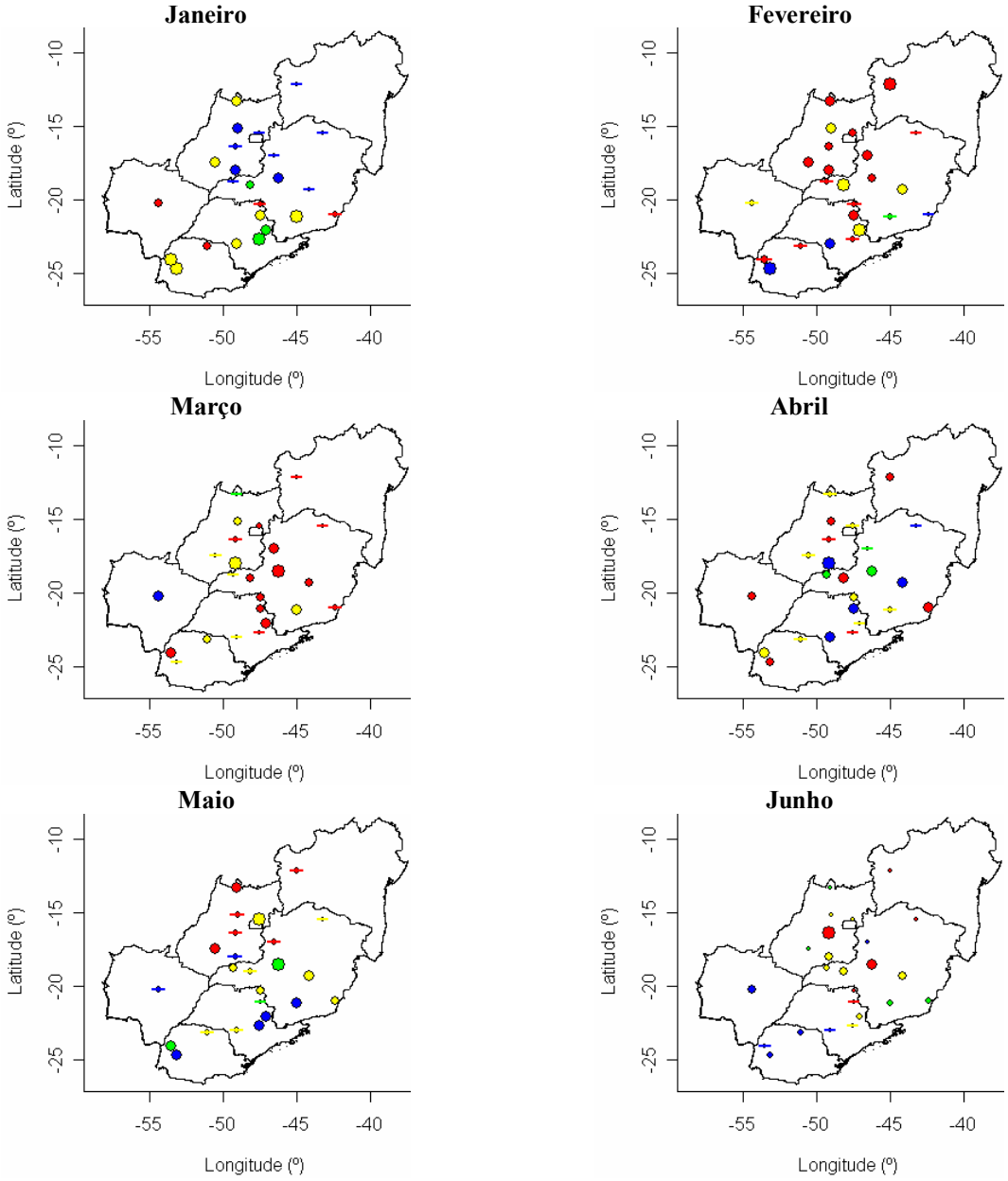


Figura 16 – Diferenças relativas máximas entre os totais mensais de chuva e suas medianas no primeiro semestre do ano para os 24 locais avaliados e a significância do valor p. Os diâmetros das legendas são proporcionais à diferença em modulo. O sinal - sobre a legenda indica diferença negativa e sua ausência diferença positiva

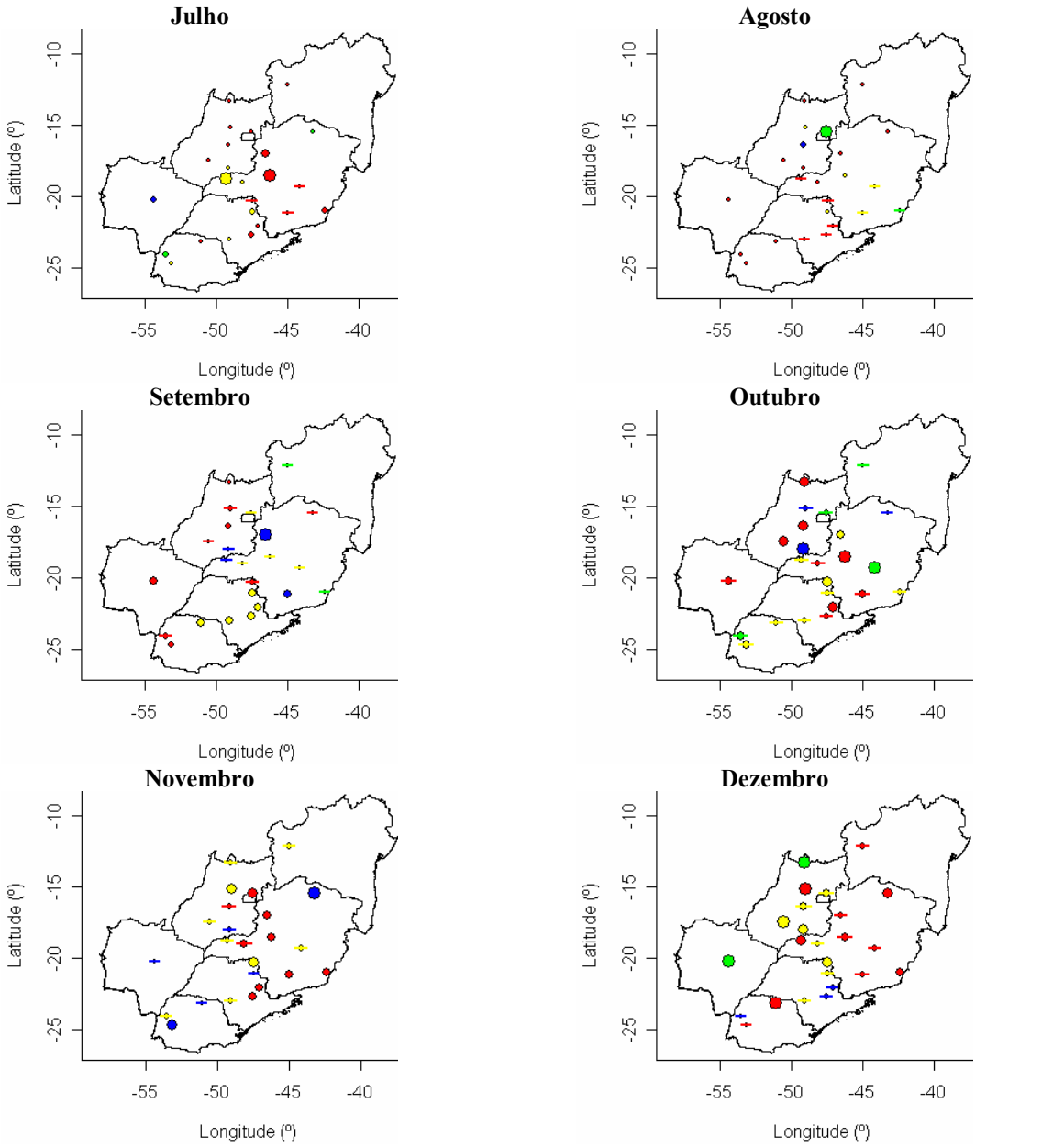


Figura 17 – Diferenças relativas máximas entre os totais mensais de chuva e suas medianas no primeiro semestre do ano para os 24 locais avaliados e a significância do valor p. Os diâmetros das legendas são proporcionais à diferença em modulo. O sinal - sobre a legenda indica diferença negativa e sua ausência diferença positiva

Tabela 13 – Relações entre as freqüências mensais (Mensal) e locais (Local) das diferenças relativas e as classes *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) nos meses que apresentaram valor p significativo para os 24 locais avaliados

	Jan.	**Fev.**	**Mar.**	**Abr.**	**Mai.**	**Jun.**	**Jul.**	**Ago.**	**Set.**	**Out.**	**Nov.**	**Dez.**	**Local**
Barreiras	0,20												**1**
Brasília	0,28												**1**
Goianésia	0,26									-0,14			**2**
Goiânia	0,34							0,20					**2**
Itumbiara	-0,18			-0,30	0,13				0,21	-0,25	-0,10		**6**
Porangatu			-0,25									-0,03	**2**
Rio Verde													**0**
Campo Grande			-0,24		0,28	0,35	-0,26				0,14	0,35	**6**
Capinópolis	0,45			-0,02					0,08				**3**
Janaúba	0,26			0,25						-0,40	-0,41		**4**
Lavras		-0,09			0,23	-0,04			-0,01				**4**
Paracatu	0,30			0,31					0,33				**3**
Patos de Minas	0,25			0,20	0,20								**3**
Sete Lagoas	0,26			0,47						0,15			**3**
Uberlândia	0,26			0,47						0,15			**3**
Viçosa		-0,23				-0,17		-0,04	0,20				**4**
Cravinhos				0,55	0,29						0,24		**3**
Guaíra													**0**
Limeira	-0,21				0,49				-0,02			0,01	**4**
Manduri		0,09		0,50		0,35							**3**
Piracicaba	0,03				-0,06							-0,18	**3**
Cascavel		-0,30			0,44	0,34					0,41		**4**
Londrina						0,33					0,40		**2**
Palotina					0,30	0,18	0,26			0,21		-0,14	**5**
Mensal	**13**	**4**	**2**	**9**	**8**	**7**	**2**	**2**	**6**	**6**	**6**	**5**	

Tabela 14 – Maiores diferenças relativas positivas (Dif+) e negativas (Dif-) entre os totais mensais de chuva e suas medianas para os 24 locais avaliados cujos meses apresentaram valor p significativo

(continua)

		Barreiras	Brasília	Campo Grande	Capinópolis	Cascavel	Viçosa
Jan	Dif+	1,79	1,91		1,74		
	Dif-	-0,88	-0,90		-0,84		
Fev	Dif+					1,03	1,49
	Dif-					-0,87	-1,00
Mar	Dif+			0,84			
	Dif-			-0,61			
Abr	Dif+				1,77		
	Dif-				-0,80		
Mai	Dif+			2,07		2,86	
	Dif-			-0,93		-0,84	
Jun	Dif+			4,21		1,74	6,31
	Dif-			-0,99		-0,96	-1,00
Jul	Dif+			5,55			
	Dif-			-1,00			
Ago	Dif+						9,55
	Dif-						-1,00
Set	Dif+				3,20		3,06
	Dif-				-1,00		-1,00
Out	Dif+						
	Dif-						
Nov	Dif+			1,25		2,24	
	Dif-			-0,65		-0,82	
Dez	Dif+			0,75			
	Dif-			-0,79			

Tabela 14 – Maiores diferenças relativas positivas (Dif+) e negativas (Dif-) entre os totais mensais de chuva e suas medianas para os 24 locais avaliados cujos meses apresentaram valor p significativo

(continuação)

		Cravinhos	Goianésia	Goiânia	Guaíra	Itumbiara	Janaúba	Viçosa
Jan	Dif+		2,02	1,02		1,03	4,38	
	Dif-		-0,96	-0,52		-0,81	-0,98	
Fev	Dif+							1,49
	Dif-							-1,00
Mar	Dif+							
	Dif-							
Abr	Dif+	2,80				1,99	3,86	
	Dif-	-1,00				-0,97	-1,00	
Mai	Dif+	4,10				3,79		
	Dif-	-0,99				-1,00		
Jun	Dif+							6,31
	Dif-							-1,00
Jul	Dif+							
	Dif-							
Ago	Dif+			183,75				9,55
	Dif-			-1,00				-1,00
Set	Dif+					1,52		3,06
	Dif-					-1,00		-1,00
Out	Dif+		1,48			1,35	1,96	
	Dif-		-0,83			-0,70	-0,96	
Nov	Dif+	0,84				1,23	1,69	
	Dif-	-0,74				-0,76	-1,00	
Dez	Dif+							
	Dif-							

Tabela 14 – Maiores diferenças relativas positivas (Dif+) e negativas (Dif-) entre os totais mensais de chuva e suas medianas para os 24 locais avaliados cujos meses apresentaram valor p significativo

(continuação)

		Lavras	Limeira	Londrina	Manduri	Palotina	Paracatu	Patos de Minas
Jan	Dif+		1,24				1,72	1,25
	Dif-		-1,00				-0,80	-0,83
Fev	Dif+	1,03			0,84			
	Dif-	-1,00			-0,74			
Mar	Dif+							
	Dif-							
Abr	Dif+				1,93		2,44	2,49
	Dif-				-1,00		-0,98	-0,96
Mai	Dif+	4,73	4,66			1,94		4,54
	Dif-	-1,00	-0,90			-0,84		-1,00
Jun	Dif+	5,60		3,25	3,73	1,02		
	Dif-	-1,00		-1,00	-1,00	-0,93		
Jul	Dif+					3,84		
	Dif-					-0,99		
Ago	Dif+							
	Dif-							
Set	Dif+	6,26					4,09	
	Dif-	-1,00					-1,00	
Out	Dif+					0,72		
	Dif-					-0,80		
Nov	Dif+			1,61				
	Dif-			-0,81				
Dez	Dif+		1,01			2,37		
	Dif-		-0,51			-0,79		

Tabela 14 – Maiores diferenças relativas positivas (Dif+) e negativas (Dif-) entre os totais mensais de chuva e suas medianas para os 24 locais avaliados cujos meses apresentaram valor p significativo

(conclusão)

		Piracicaba	Porangatu	Rio Verde	Sete Lagoas	Uberlândia
Jan	Dif+	0,90			1,86	1,86
	Dif-	-1,00			-0,80	-0,80
Fev	Dif+					
	Dif-					
Mar	Dif+		1,15			
	Dif-		-0,72			
Abr	Dif+				3,08	3,08
	Dif-				-0,99	-0,99
Mai	Dif+	6,21				
	Dif-	-0,98				
Jun	Dif+					
	Dif-					
Jul	Dif+					
	Dif-					
Ago	Dif+					
	Dif-					
Set	Dif+					
	Dif-					
Out	Dif+				3,33	3,33
	Dif-				-1,00	-1,00
Nov	Dif+					
	Dif-					
Dez	Dif+	0,65	1,21			
	Dif-	-0,69	-0,72			

4.1.1 Paraná

Em Cascavel, observou-se valor p significativo para os meses de Fevereiro, maio, Junho e Novembro (Figura 16 e Figura 17), sendo que as diferenças positivas nesses meses foram maiores que as negativas (Tabela 14), o que indica que o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) contribui para o aumento da precipitação pluvial no local. Quando considerada a relação (Tabela 13) entre as diferenças relativas da precipitação pluvial observada e a mediana nos meses de Fevereiro, maio, Junho e Novembro e as classes do ENSO, observa-se relação direta entre a diferença relativa na precipitação pluvial e os ventos de *El Niño* e *La Niña* nos meses de maio, Junho e Novembro, indicando que os eventos contribuem para o aumento e a redução, respectivamente, no regime de chuvas em Cascavel nos meses citados. Entretanto, há relação inversa (-0,30) entre as classes de ENSO e diferença relativa na precipitação pluvial no mês de Fevereiro, indicando que as variações na precipitação pluvial nesse mês não são coerentes com o aumento de chuvas em períodos de *El Niño* e a redução de chuvas em períodos de *La Niña*.

Dados os períodos de *El Niño*, foram verificadas diferenças relativas positivas nos meses de Maio (0,61), Junho (0,57) e Novembro (0,20), o que indica coerência com a hipótese de que esse evento provoca aumento da precipitação pluvial, notadamente nos meses de inverno. Já nos períodos de *La Niña* observou-se ligeira redução da precipitação pluvial (-0,02) apenas em maio, pois os meses de Junho (0,17) e Novembro (0,01) apresentaram precipitações pluviais maiores que a mediana, o que sugere a pequena relação entre eventos *La Niña* e o regime de chuvas de Cascavel durante o inverno. Quando observadas as coerências entre as diferenças relativas de precipitação pluvial nos períodos Neutros, constatou-se redução de -0,26, -0,35 e -0,19 nos meses de maio, Junho e Novembro, o que contribuiu para reforçar a hipótese da pequena contribuição do evento *La Niña* para o regime de chuvas em Cascavel.

Analisando-se as diferenças relativas de precipitação pluvial nos períodos de *El Niño*, *La Niña* e Neutros no mês de Fevereiro, observou-se o aumento (0,30) de precipitação pluvial nos períodos de *La Niña* e redução nos períodos de *El Niño* (-0,12) e Neutro (-0,09), o que contraria os efeitos de aumento de precipitação pluvial em função da ocorrência de *El Niño* observados nos demais meses e corrobora a hipótese do reduzido efeito do período de *La Niña*.

A partir da análise localizada dos efeitos do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul em Londrina, observa-se valor p significativo nos meses de Junho e Novembro (Figura 16 e Figura 17) e, semelhante a Cascavel, diferenças positivas nesses meses maiores que as negativas (Tabela 14).

Quando considerada a relação (Tabela 13) entre as diferenças relativas da precipitação pluvial observada e a mediana nos meses de Junho e Novembro e as classes do ENSO, observa-se que em 33 e 40% dos casos, respectivamente, os fenômenos *El Niño*, Neutro e *La Niña* coincidiram com variações do Índice de Oscilação Sul (IOS) positivas, nulas e negativas. Examinando-se as diferenças relativas nos anos de *El Niño*, Neutro e *La Niña* individualmente, observou-se que nos anos de *El Niño* a diferença relativa foi 0,44 e 0,14 para os meses de Junho e Novembro, respectivamente, indicando que o fenômeno *El Niño* implica aumento da precipitação pluvial nesses referidos meses. Já nos anos de *La Niña* a diferença relativa foi negativa apenas para o mês de Novembro (-0,43), sendo da ordem de 0,16 para o mês de Junho, enquanto nos anos Neutros a diferença foi positiva para o mês de Novembro (0,20) e negativa para o mês de Junho (-0,30).

Os resultados observados nos meses com valor p significativo em Palotina (Figura 16 e Figura 17) - Maio a Julho, Outubro e Dezembro - são contraditórios quanto ao padrão de redução da precipitação pluvial em períodos de *La Niña*, pois em todos os meses citados a precipitação pluvial foi maior que a mediana nos períodos de *La Niña* e menor nos períodos Neutros, corroborando a pequena influência dos períodos *La Niña* no regime de chuvas regional. Quanto aos períodos de *El Niño*, observou-se redução da precipitação pluvial no mês de Dezembro, o que contraria os resultados obtidos para o mês de Novembro em Londrina e Cascavel, além daqueles obtidos por Grimm, Ferraz e Gomes (1997). Já nos meses de inverno em Palotina ocorreram os maiores aumentos da precipitação pluvial associados ao evento *El Niño* quando comparados a Cascavel e Londrina, em especial no mês de Julho (0,92).

Na região Sul do Brasil, onde estão localizados Cascavel, Londrina e Palotina, normalmente as frentes frias oriundas de altas latitudes avançam rapidamente para o norte e para o leste durante o inverno na região Sul da América do Sul. Com a ocorrência do fenômeno *El Niño*, esses sistemas frontais avançam até atingir a latitude da Corrente de Jato Subtropical, intensificada nos anos de *El Niño*, restringindo o avanço das frentes. Ao longo, com predominância para o leste, e ao sul dessas frentes há o desenvolvimento de forte atividade convectiva, implicando aumento das precipitações pluviais (ARKIN, 1982). Portanto, o efeito do fenômeno *El Niño* durante o inverno na região Sul do Brasil depende, além da sua intensidade, da intensidade dos sistemas frontais e da localização da Corrente de Jato Subtropical, o que explica as influências do evento no aumento de precipitações pluviais na região Sul do Brasil, que pode se estender para o sudeste do estado de São Paulo. Já nos anos de *La Niña*, o deslocamento das

frentes oriundas de altas latitudes não sofre qualquer restrição, não afetando, portanto, o padrão de precipitação pluvial regional.

Em Londrina e Cascavel, os resultados para os anos de *El Niño* são coerentes com o esperado e aqueles obtidos por Grimm, Ferraz e Gomes (1997), autores que destacaram o aumento da precipitação pluvial nos meses de inverno, ressaltando-se nesse estudo o mês de Junho, e Novembro como comum aos dois locais. Em Palotina, observou-se relação contraditória entre o evento *El Niño* e o regime de chuvas no verão, notadamente no mês de Dezembro. Esse resultado pode ser atribuído à questões da geografia local, notadamente a proximidade com a represa de Itaipu, cuja massa de água e a conseqüente evaporação podem propiciar microclimas diversos. Já nos anos de *La Niña* foram verificados resultados coerentes apenas para o mês de Novembro em Londrina, e contraditórios para os demais meses analisados em Londrina e para todos os meses do ano em Cascavel e Palotina.

Considerando os resultados discutidos sobre os locais da região Sul do Brasil, é possível deduzir a baixa relação entre os eventos *La Niña* e o regime de chuvas da região, o que implica dificuldade na previsão de clima durante o evento do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO). Quanto à relação entre o regime de chuvas e o evento *El Niño*, destaca-se o aumento de precipitação pluvial nos meses inverno, Junho e Julho, e de Novembro. Há que se considerar os resultados contraditórios obtidos no verão em Palotina; entretanto, tais resultados podem ser atribuídos à geografia local, hipótese a ser mais bem estudada.

Outra hipótese a ser considerada nas contradições observadas para essa região é o efeito da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). As Zonas de Convergência Subtropicais aparecem quando duas condições de grande escala são satisfeitas: i) o escoamento de ar quente e úmido, em baixos níveis, em direção às altas latitudes; e ii) um Jato Subtropical (JST) em altos níveis fluindo em latitudes subtropicais, condições prevalecentes durante os períodos de *El Niño*. O escoamento em baixos níveis intensifica a convergência de umidade enquanto que, combinado ao JST, intensifica a frontogênese, influindo na instabilidade convectiva. O estabelecimento desse padrão de circulação está claramente associado à atividade convectiva no Brasil Central (HURREL; VINCENT, 1991), mas a convecção também contribui na intensificação da Baixa na região do Chaco, que fortalece a convergência de ar úmido sobre a região em questão.

4.1.2 Mato Grosso do Sul

Campo Grande, em razão de sua localização geográfica próxima ao Pantanal, apresenta clima peculiar em relação aos demais locais analisados, marcado pela contribuição da Zona de Convergência Intertropical, a qual define uma estação de reduzida precipitação pluvial no período de inverno e aumento gradativo da precipitação pluvial conforme se avança para o verão em regime convectivo, além da influência das massas oriundas de altas latitudes, as quais, ao atingirem o continente, podem ser desviadas em direção à depressão do Pantanal, provocando zonas de instabilidade (ANDRADE; CAVALCANTI, 2005; ASSAD, 1994). Em razão da diversidade de fatores que contribuem para o clima local, a expectativa é de que mudanças na circulação geral da atmosfera, a exemplo das provocadas pelo fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO), tenham maior efeito sobre o clima, o que fica patente pela alta freqüência de meses (6) com sinais significativos. Entretanto, tal alta freqüência não implica que o monitoramento do fenômeno ENSO possa contribuir consistentemente para a previsão do clima local, conforme indicado pelas relações negativas nos meses de Março e Julho, contrastando com as positivas nos meses de maio, Junho, Novembro e Dezembro (Tabela 13).

As maiores diferenças relativas nos meses citados (Tabela 14) foram positivas e ocorreram em Maio (2,07), Junho (4,21) e Julho (5,55), período com reduzida precipitação pluvial nesse local, em acordo com o deslocamento da Zona de Convergência Intertropical. No período de primavera e verão, quando as precipitações pluviais tendem a aumentar, observa-se que os meses de Novembro e Dezembro apresentaram relação e diferença positivas, indicando que os eventos *El Niño* e *La Niña* podem contribuir para o aumento e a redução da precipitação pluvial, respectivamente, com predominância dos efeitos do *El Niño*. Assim, é possível inferir que os eventos *El Niño* e *La Niña* contribuem para o aumento e a redução, respectivamente, da precipitação pluvial em Campo Grande nos meses de maio, Junho, Novembro e Dezembro, enquanto os efeitos em Março e Julho são contraditórios.

Nos meses de Maio e Junho, observou-se valor p altamente significativo, em que as diferenças relativas nos períodos de *El Niño* foram positivas (0,12 e 1,81), ao passo que nos períodos de *La Niña* as diferenças foram negativas (-0,41 e -0,33), com pequena variação nos anos Neutros. Tais resultados corroboram a hipótese de que *El Niño* está associado ao aumento da precipitação pluvial; diferente dos locais avaliados no estado do Paraná, em Campo Grande os resultados indicam a relação entre o evento *La Niña* e a redução na precipitação pluvial.

Esses resultados se repetem em Dezembro, mês que, apesar de apresentar valor p apenas significativo, revela alta coincidência entre eventos e variação na precipitação pluvial (Tabela 13), pois em 35% dos casos as variações nas precipitações pluviais dos eventos foram coerentes com a assunção inicial. Em Dezembro, as diferenças máximas e mínimas (Tabela 14) também foram semelhantes, indicando a contribuição eqüitativa dos eventos *El Niño* e *La Niña* ao regime de chuvas local, o que é confirmado quando levadas em conta as variações relativas da precipitação pluvial nos períodos de *El Niño* (0,28), *La Niña* (-0,15) e Neutro (-0,07).

De maneira similar aos locais analisados no estado do Paraná, os efeitos do evento *El Niño* em Campo Grande também são explicados também pela intensificação da Corrente de Jato e a conseqüente restrição ao avanço das frentes. O efeito é ampliado pela restrição ao deslocamento da Zona de Convergência Intertropical durante eventos *El Niño* (Figura 18), o que possibilita o maior avanço das frentes oriundas de altas latitudes e, conseqüentemente, a maior precipitação pluvial (LENTERS; COOK, 1996).

A redução na precipitação pluvial em Campo Grande durante os eventos *La Niña* pode ser atribuída à ampliação do deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCI), o que limita o avanço das frentes oriundas de altas latitudes. Observa-se que a inversão no deslocamento da ZCI ocorre nos meses de Março e Agosto nos hemisférios sul e norte (Figura 18), respectivamente; assim, o posicionamento mais ao sul da ZCI nos eventos *La Niña* apresenta efeito mais significativo durante o inverno, pois nesse período a atividade convectiva no hemisfério sul é reduzida ampliando a participação do efeito das frentes, cujo deslocamento é restringido durante os eventos *La Niña* (LENTERS; COOK, 1996; NOBRE; SHUKLA, 1996).

Quando consideradas as diferenças relativas das precipitações pluviais nos períodos de *El Niño*, *La Niña* e Neutros nos meses de Março e Julho, observa-se aumento das precipitações pluviais nos períodos de *La Niña* da ordem de 0,31 e 0,74, respectivamente, redução nos períodos Neutros da ordem de -0,13 e -0,24, respectivamente, e pequena variação nos períodos *El Niño*, o que corrobora o efeito contraditório ao esperado nesses meses. A despeito dos resultados contraditórios, faz-se necessário considerar que os valores p são altamente significativos (Figura 16 e Figura 17), o que indica a consistência dos resultados e a possibilidade de que os eventos *El Niño* e *La Niña* causem efeitos diversos do proposto, ou seja, aumento e redução na precipitação pluvial, respectivamente, sugerindo-se estudos mais detalhados sobre essas relações. No caso do mês de Março, há que se considerar a inversão no sentido de deslocamento da Zona de

Convergência Intertropical, o que pode representar durante os eventos *La Niña* um maior efeito de supressão da restrição ao avanço das frentes, potencializado seus deslocamentos (LENTERS; COOK, 1996).

Outra questão a ser considerada no clima de Campo Grande é a influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), caracterizada como banda convectiva com origem na Amazônia, estendendo-se em direção do sudeste do Brasil até o oceano Atlântico (Figura 19). Por se tratar de uma banda convectiva, é possível inferir que a intensidade ZCAS está diretamente relacionada ao aumento da precipitação pluvial na região Centro-Sul do Brasil; contudo, o regime de chuvas também é função de sua posição continental ou sobre oceano. O posicionamento oceânico da ZCAS contribui para o aumento da precipitação pluvial sobre a região Sudeste do Brasil, em especial nos estados do Rio de Janeiro, sudeste de Minas Gerais e nordeste de São Paulo, enquanto seu posicionamento mais continental contribui para a redução na precipitação pluvial nessas regiões e aumento da precipitação pluvial em regiões mais continentais (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004).

A intensidade da ZCAS parece não ser afetada pelas fases do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul; entretanto, sua localização sobre o oceano está relacionada a períodos *El Niño* e Neutro (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004); assim, períodos *La Niña* contribuem para a localização mais continental da ZCAS. O regime de chuvas nas regiões adjacentes a ZCAS também é afetado pela alteração por ela provocada na circulação geral da atmosfera (Figura 19); assim, sua localização mais oceânica nos períodos de *El Niño* contribui para o aumento da precipitação pluvial na região Sudeste do Brasil, estendendo-se até o leste de Goiás, sudeste de Tocantins, oeste e sul da Bahia, ou seja, a conjugação de *El Niño* com posicionamento oceânico da ZCAS intensifica a precipitação pluvial, ao passo que seu posicionamento continental durante eventos *El Niño* tem efeito contrário.

No caso de Campo Grande, os resultados observados para períodos de *La Niña* nos meses de Março e Julho podem estar relacionados à intensificação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e seu posicionamento mais continental, o que contribui para o aumento da precipitação pluvial nessa região. Contudo, como tal hipótese não foi avaliada, sugere-se a realização de estudos sobre o clima desse local, relacionando o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul à intensidade e ao posicionamento da ZCAS.

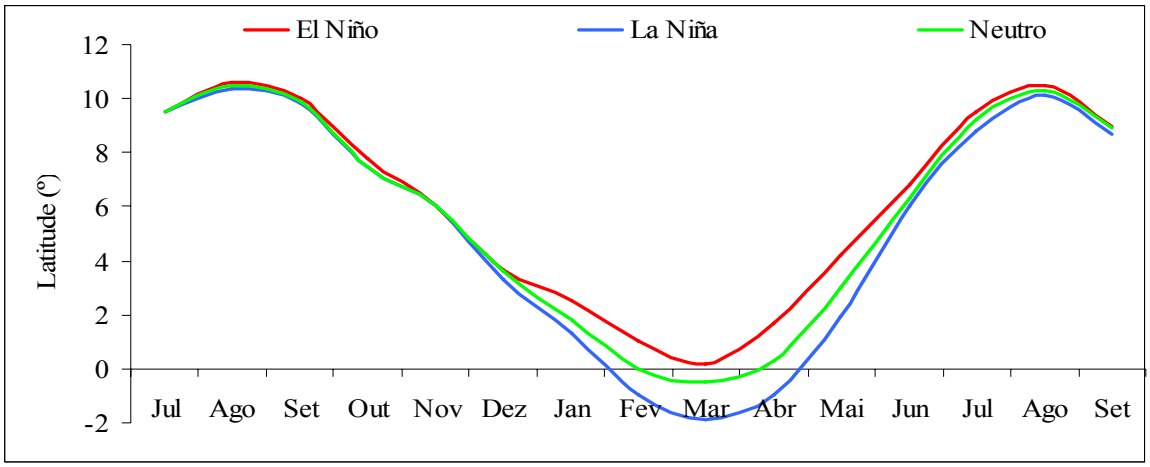


Figura 18 – Deslocamento meridional da Zona de Convergência Intertropical (ZCI) na longitude 30ºW sobre o Oceano Atlântico em períodos de eventos *El Niño*, *La Niña* e Neutros (NOBRE; SHUKLA, 1996)

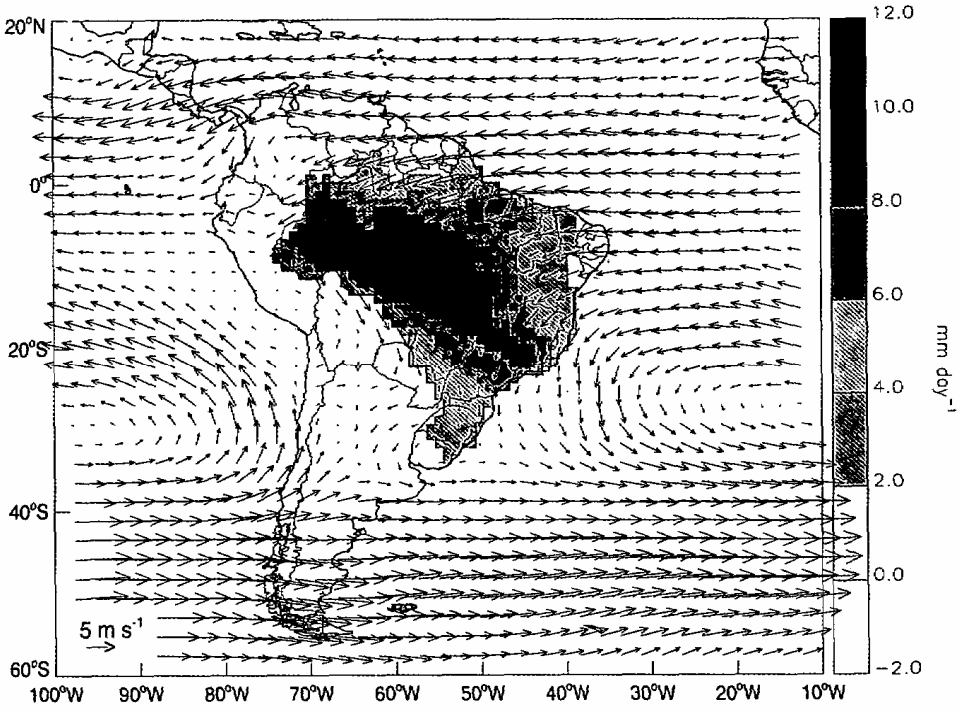


Figura 19 – Caracterização da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) pela precipitação pluvial média diária e velocidade de ventos (850 hPa) no trimestre Dezembro, Janeiro e Fevereiro (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004)

4.1.3 São Paulo

Os climas do estado de São Paulo podem ser considerados de transição entre temperado e tropical. Assim, em Manduri, os meses de Fevereiro, Abril e Junho (Figura 16) apresentaram valor p altamente significativo, sendo que Junho apresentou as maiores diferenças relativas máxima e mínima (Tabela 14), ao passo que Abril apresentou a maior coincidência (Tabela 13) entre eventos *El Niño* e *La Niña* com o aumento e a redução na precipitação pluvial, respectivamente. Analisadas as diferenças relativas de precipitação pluvial durante os eventos *El Niño*, *La Niña* e Neutros, observa-se que esses meses apresentaram aumento relativo da precipitação pluvial da ordem de 0,01, 0,52 e 0,37, respectivamente, nos períodos de *El Niño*. Nos períodos de *La Niña*, as reduções relativas na precipitação pluvial foram de -0,13, -0,42 e -0,41, respectivamente a Fevereiro, Abril e Junho. A partir do exposto sobre Manduri, é possível inferir que os eventos *El Niño* e *La Niña* correspondem ao aumento e à redução na precipitação pluvial, respectivamente, em especial nos meses de Abril e Junho, o que é coerente ao pressuposto inicial.

Analisando-se as informações sobre Piracicaba e Limeira, dois locais com localizações geográficas próximas (Figura 14), observa-se que os meses de Janeiro, Maio e Dezembro apresentaram valores p significativos, com destaque para os meses de Maio e Dezembro. Verificou-se que as diferenças relativas positivas nesses meses foram maiores em Maio para ambos os locais (Tabela 13), o que pode ser atribuído parcialmente à redução da atividade convectiva durante o inverno. Quando analisada a coincidência entre eventos *El Niño* e *La Niña* e o aumento ou a redução da precipitação pluvial, respectivamente, observam-se relações negativas no mês de Janeiro em Limeira e nos meses de Maio e Dezembro em Piracicaba, indicando que eventos *El Niño* e *La Niña* contribuem para a redução e o aumento da precipitação pluvial, respectivamente, nesses meses (Tabela 13), contrariando assim o pressuposto inicial.

Em Limeira, observou-se aumento relativo da precipitação pluvial durante Janeiro (0,29) e Dezembro (0,06) nos períodos de *La Niña*, enquanto a precipitação pluvial reduziu (-0,45) durante Maio nesses períodos. Ainda em Limeira, constatou-se aumento da precipitação pluvial (0,52) nos períodos de *El Niño* apenas no mês de maio. Já em Piracicaba, observou-se aumento relativo da precipitação pluvial nos meses de Janeiro (0,42) e Dezembro (0,11) durante os eventos *La Niña*, enquanto que durante os eventos *El Niño* nesses meses as reduções relativas na precipitação pluvial foram de -0,10 e -0,01, respectivamente. Assim, apenas o mês de Maio apresenta

coerência com o pressuposto inicial de aumento da precipitação pluvial durante eventos *El Niño* e redução durante eventos *La Niña* em ambos locais, com destaque para o efeito *La Niña*.

A despeito do pressuposto inicial, o efeito *El Niño* apresenta resultados consistentes para o mês de Janeiro em Piracicaba e Limeira, sendo possível inferir sua contribuição para a redução da precipitação pluvial nesse mês. O resultado é coerente com a hipótese da restrição ao deslocamento das frentes oriundas de altas latitudes numa latitude inferior a Limeira e Piracicaba durante eventos *El Niño*, o que implica redução da precipitação pluvial na região. Já o efeito *El Niño*, durante o inverno, é coerente com a hipótese da restrição das frentes sobre esses locais, enquanto que o marcante efeito *La Niña* durante o mês de Maio pode ser atribuído à maior atividade convectiva na região, em conseqüência do posicionamento mais ao sul da Zona de Convergência Intertropical durante eventos *La Niña*, ou ainda, aos efeitos da Zona de Convergência do Atlântico Sul. Assim, pode-se concluir que Piracicaba e Limeira representam a transição de uma região que o evento *El Niño* está associado ao aumento da precipitação pluvial durante o inverno e a primavera, a região Sul do país, para uma região a que esse evento está associado à redução da precipitação pluvial durante o verão, a região Nordeste do Brasil.

Em Cravinhos observou-se valor p muito significativo em Abril e Novembro, além do sinal significativo em Maio (Figura 16 e Figura 17), sendo que as relações entre os eventos *El Niño* e *La Niña* com diferenças relativas na precipitação pluvial positivas e negativas, respectivamente, são positivas (Tabela 13), o que indica a coerência do regime de chuvas desse local com o pressuposto inicial de que eventos *El Niño* contribuem para o aumento da precipitação pluvial, enquanto eventos *La Niña* têm efeito oposto. Essa afirmação é corroborada pelo aumento relativo da precipitação pluvial durante eventos *El Niño* nos meses de Abril (0,68), Maio (0,65) e Novembro (0,06), além da concomitante redução, durante eventos *La Niña* nesses meses, da ordem de -0,31, -0,68 e -0,39, respectivamente. Neste caso observa-se que o efeito de aumento da precipitação pluvial (Tabela 14) é mais pronunciado do que a redução, indicando maior efeito do evento *El Niño* sobre o regime de chuvas local quando comparado ao evento *La Niña*, sobretudo no mês de maio.

Os resultados têm nexo lógico com o proposto por Grimm, Barros e Doyle (1999) e Grimm, Ferraz e Gomes (1997) para a região Sul do Brasil, e com os resultados obtidos para Piracicaba e Limeira, indicando que eventos *El Niño* contribuem para o aumento da precipitação pluvial durante os períodos de inverno e de verão nessa região, ao passo que eventos *La Niña*,

apesar de significativos, têm menor relação com a precipitação pluvial regional. Entretanto, esse suposto contraria a hipótese de que, durante o verão, a linha de restrição ao avanço das frentes oriundas de altas latitudes, representada pela intensificação da Corrente de Jato Subtropical durante eventos *El Niño*, localiza-se mais ao sul que esses locais. Assim, sobretudo quanto ao efeito do *El Niño* no mês de Janeiro em Piracicaba e Limeira, é preciso considerar a influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul, pois, conforme destacado por Carvalho, Jones e Liebmann (2004), eventos *El Niño* favorecem o posicionamento oceânico dessa banda, contribuindo para a intensificação da atividade convectiva na região sob sua influência e na alteração na circulação geral adjacente. Desta forma, considerando que a redução relativa na precipitação pluvial durante eventos *El Niño* no mês de Janeiro em Piracicaba e Limeira é inferior a 0,10, deve ser levada em conta a possibilidade dos efeitos da Zona de Convergência do Atlântico Sul, os quais, em geral, são mais intensos entre Dezembro e Fevereiro.

A diferença relativa na precipitação pluvial em Cravinhos durante eventos *El Niño* no mês de Janeiro, embora não significativa, também foi negativa (-0,01), o que corrobora a hipótese de que a região apresenta-se como de transição para os efeitos *El Niño* Oscilação Sul e sofre grande influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul, sobretudo no verão.

Com relação a Guaíra, a cidade não apresentou nenhum mês com relação significativa entre o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul e o regime de chuvas no período analisado. Esses resultados, contudo, não excluem a possibilidade dessa relação, sobretudo se considerados os resultados consistentes obtidos para locais relativamente próximos, como Cravinhos, Piracicaba e Limeira. Assim, é possível inferir que questões ligadas à geografia local, a exemplo de sua acentuada inserção no vale do Rio Grande, têm efeito marcante sobre o regime de chuvas local.

Considerando os resultados obtidos em São Paulo, é possível inferir a influência positiva dos eventos *El Niño* para o aumento da precipitação pluvial durante os meses de inverno e primavera. Quanto aos efeitos de eventos *La Niña*, apesar das diferenças relativas serem menores que para os eventos *El Niño*, observa-se contribuição para a redução no regime de chuvas das regiões analisadas desse Estado. Também deve entrar em consideração a questão de que Piracicaba, Limeira e Cravinhos são regiões de transição do efeito do evento *El Niño* sobre o regime de chuvas durante o verão, hipótese que ainda carece de maiores estudos, com atenção para os possíveis efeitos da Zona de Convergência do Atlântico Sul.

4.1.4 Minas Gerais

Conforme destacado para o Estado de São Paulo, no tópico 4.1.3, a região Sudeste do Brasil está numa faixa de transição entre climas de características tropicais, com duas estações definidas pelo regime de precipitação pluvial, e climas de latitudes com características temperadas, com quatro estações durante o ano definidas pela temperatura. Assim, a região de Minas Gerais é pródiga na diversidade de climas, pois apresenta clima com características temperadas na região mais ao sul do estado, sua região norte é a região mais ao meridional do Brasil com características de clima semi-árido, além do fato de que as demais regiões são convectivas (CATALUNHA, 2002; MELO FILHO, 2003).

Lavras apresentou sinal significativo nos meses de Fevereiro, maio, Junho e Setembro (Figura 16 e Figura 17), sendo que em Maio a relação foi coerente com o esperado, enquanto em Fevereiro, Junho e Setembro foi inversa (Tabela 13); ou seja, nestes últimos, eventos *El Niño* e *La Niña* podem ter contribuído para a redução e/ou aumento na precipitação pluvial, respectivamente. O mês de Fevereiro apresentou diferenças relativa máxima e mínima próximas (Tabela 14), indicando que ambos os eventos podem ter afetado o regime de chuvas local, enquanto que nos demais meses, especialmente em Setembro, as diferenças relativas máximas foram superiores às mínimas (Tabela 14). Assim, pode-se inferir que, em Lavras, eventos *La Niña* estão associados ao aumento da precipitação pluvial durante os meses de Fevereiro, Junho e Setembro, enquanto o evento *El Niño* está associado ao aumento da precipitação pluvial em maio. Considerando a distribuição temporal desses meses, os resultados são contraditórios, indicando a inconsistência de algumas observações, hipótese reforçada pelas relações menores nos meses de Fevereiro, Junho e Setembro, quando comparados a Maio (Tabela 13).

Quando analisadas as diferenças relativas na precipitação pluvial durante eventos *El Niño*, *La Niña* e Neutros, pode-se observar que, durante eventos *El Niño*, houve redução da precipitação pluvial nos meses de Fevereiro (-0,19), Maio (-0,04) e Setembro (-0,15), enquanto Junho apresentou aumento (0,11). Durante eventos *La Niña*, houve aumento da precipitação pluvial nos meses de Fevereiro (0,03) e Junho (0,72), ao passo que Maio (-0,48) e Setembro (-0,16) apresentaram redução. Já nos períodos Neutros, houve aumento da precipitação pluvial em Fevereiro (0,10), Maio (0,56) e Setembro (0,28), enquanto que no mês de Junho houve redução (-0,48).

Considerando que nos meses de Maio e Setembro *El Niño* e *La Niña* estão associados à redução na precipitação pluvial e que em Junho ambos os eventos relacionam-se ao aumento da precipitação pluvial, é possível inferir que o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) apresenta efeito no regime de chuvas de Lavras; porém, suas relações são complexas durante o inverno e a primavera. Embora os eventos *El Niño* e *La Niña* estejam associados à redução e o aumento na precipitação pluvial, respectivamente, no mês de Fevereiro há contribuição significativa dos períodos Neutros, o que, embora esteja próximo aos resultados obtidos para as menores latitudes em São Paulo, indica a complexidade também no verão.

Em Viçosa observou-se situação semelhante a Lavras, pois o sinal foi significativo nos meses de Fevereiro, Junho, Agosto e Setembro (Figura 16 e Figura 17), indicando que eventos *El Niño* e *La Niña* podem estar associados à redução e/ou o aumento da precipitação pluvial, respectivamente, nos meses de Fevereiro, Junho e Agosto, enquanto no mês de Setembro seus efeitos sobre o regime de chuvas podem ser contrários (Tabela 13). Analisando-se as diferenças relativas na precipitação pluvial durante eventos *El Niño*, Viçosa apresenta redução na precipitação pluvial em Fevereiro (-0,35), Agosto (-0,06) e Setembro (-0,01), havendo aumento em Junho (0,01). Durante eventos *La Niña* as diferenças relativas são positivas em Fevereiro (0,17) e Junho (0,95), com redução em Agosto (-0,99) e Setembro (-0,53).

Assim como em Lavras, em Viçosa os dois eventos estão associados ao aumento da precipitação pluvial em Junho e à redução em Agosto e Setembro, o que também indica a existência de efeitos do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul nesse local, porém com interações complexas. Em Fevereiro, o evento *El Niño* está associado à redução na precipitação pluvial, o que é esperado na região Nordeste do Brasil e foi observado nas latitudes menores do Estado de São Paulo.

Lavras e Viçosa localizam-se em latitudes semelhantes e estão em uma zona de transição do clima temperado para o clima tropical. Uma vez que os resultados sobre o efeito do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) são semelhantes para ambos os locais, é possível deduzir a consistência da afirmação de que o fenômeno ENSO apresenta influência sobre o regime de chuvas da região, porém interage com outros fatores, a exemplo do relevo, produzindo situações mais complexas do que o esperado na região Sul do país, aumento da precipitação pluvial durante o inverno e a primavera nos eventos *El Niño*, ou na região Nordeste do país, aumento e redução da precipitação pluvial durante o verão em eventos *La Niña* e *El Niño*, respectivamente. Nesse caso,

há que se considerar que os dois locais sofrem influência da topografia local, a Serra da Mantiqueira, a qual interfere nos deslocamentos oriundos do oceano em direção ao interior; portanto é possível inferir sua forte interação com a Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Em Sete Lagoas o clima é caracterizado pelo regime de chuvas, apresentando alguma similaridade com o regime de chuvas da região semi-árida do Nordeste brasileiro (CATALUNHA, 2002; MELO FILHO, 2003). Nesse local, os meses de Janeiro, Abril e Outubro apresentaram valor p significativo (Figura 16 e Figura 17), e as relações são coerentes com o aumento da precipitação pluvial em períodos *El Niño* e sua redução em períodos *La Niña* (Tabela 13). Como as diferenças relativas positivas são maiores que as negativas (Tabela 14), notadamente nos meses de Abril e Outubro, é possível inferir a contribuição do evento *El Niño* para o aumento da precipitação pluvial no local, o que contraria a hipótese inicial de que os eventos *El Niño* e *La Niña* estão associados à redução e ao aumento da precipitação pluvial durante o verão em locais situados mais próximos à região Nordeste do país, conforme destacado por Alves e Repelli (1992), Lenters e Cook (1996), Nobre e Shukla (1996) e Wang (1994).

Consideradas as diferenças relativas durantes os eventos *El Niño*, *La Niña* e Neutros em Sete Lagoas, observa-se a consistência da inferência para os meses de Janeiro e Abril, os quais apresentaram diferenças da ordem de 0,36 e 0,76 durante eventos *El Niño* e de -0,39 e -0,61 durante eventos *La Niña*, respectivamente aos meses de Janeiro e Abril, enquanto as diferenças relativas para os períodos Neutros foram inferiores a 0,10, em ambos os meses. Já em Outubro, eventos *El Niño* estiveram associados a diferenças negativas (-0,26), *La Niña* a diferenças positivas (0,39) e períodos Neutros a diferenças negativas (-0,11), porém menores do que as anteriores, o que indica a consistência dos efeitos *El Niño* e *La Niña* para o aumento e a redução da precipitação pluvial, conforme esperado para a região Nordeste do país.

Considerando o exposto sobre os resultados em Sete Lagoas, é possível inferir também que se trata de região de transição, semelhante a Limeira, Piracicaba e Cravinhos, pois os resultados obtidos para o período de primavera são consistentes com os esperados para a região Nordeste do país, ao passo que os obtidos para Abril são mais próximos dos esperados para a região Sul. Com relação à semelhança entre os locais do estado de São Paulo e Sete Lagoas, deve ser levada em conta a maior proximidade de Sete Lagoas com a região semi-árida do Brasil, o que acarreta efeitos mais pronunciados durante o verão e o outono, hipótese corroborada pela maior significância do valor p nesses meses (Figura 16) do que em Outubro (Figura 17).

Conforme destacado por Melo Filho (2003), a região Norte de Minas Gerais, representada por Janaúba, é o exemplo mais ao sul no país do clima semi-árido. Em Janaúba observou-se sinal significativo para os meses de Janeiro, Abril, Outubro e Novembro (Figura 16 e Figura 17), sendo que os dois primeiro apresentaram relações indicando que os eventos El Nina e *La Niña* podem estar relacionados ao aumento e/ou à redução da precipitação pluvial, respectivamente, enquanto os dois últimos apresentaram relações contrárias (Tabela 13) e com valores maiores que os dois primeiros. Assim, observando-se as diferenças relativas máxima e mínima (Tabela 14) é possível inferir o efeito mais pronunciado do evento *El Niño*, o qual está associado à redução na precipitação pluvial nos meses de primavera e ao aumento nos meses de verão em Janaúba.

As diferenças relativas durante os eventos *El Niño* em Janaúba são positivas apenas no mês de Janeiro (0,20), sendo negativas em Abril (-0,01), Outubro (-0,57) e Novembro (-0,18). Já as diferenças relativas durante os eventos *La Niña*, são positivas em Outubro (0,17) e Novembro (0,46) e negativas em Janeiro (-0,31) e Abril (-0,75). Portanto, os resultados entre as diferenças durante eventos *El Niño* e *La Niña* são coerentes entre si e para com a hipótese inicial para os meses de Outubro e Novembro apenas. Para o mês de Janeiro as diferenças são coerentes entre os eventos *El Niño* e *La Niña*, enquanto em Abril as diferenças são incoerentes entre os eventos, pois durante fenômenos *El Niño* (-0,01) e *La Niña* (-0,75) houve redução da precipitação pluvial, cabendo aos períodos Neutros (0,31) o aumento da precipitação pluvial.

A partir do exposto sobre as relações entre o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) e o regime de chuvas em Janaúba, é possível inferir que o fenômeno ENSO está associado consistentemente ao regime de chuvas local nos meses de primavera, pois há redução e aumento da precipitação pluvial nos meses de primavera durante eventos *El Niño* e *La Niña*, respectivamente. Os resultados para os meses de verão são contraditórios, havendo aumento e redução da precipitação pluvial durante eventos *La Niña* e *El Niño*, respectivamente, em Janeiro, o que é coerente em relação aos resultados esperados, ao passo que há redução em Abril na ocorrência de ambos os eventos.

Melo Filho (2003), estudando os efeitos do ENSO sobre o regime de chuvas dessa região, conclui que o fenômeno afeta o regime de chuvas regional; porém, o pesquisador também não conseguiu estabelecer qualquer relação entre os eventos ENSO e o regime de chuvas segundo sua assunção de que a região deveria apresentar relações semelhantes às do Nordeste brasileiro. Sem

maiores detalhes ou aprofundamentos, o autor comenta: “o comportamento diferenciado poderá ser relacionado à topografia. Porém, este caso deverá ser objeto de estudos posteriores”.

Paracatu, Patos de Minas e Uberlândia apresentam climas caracterizados pelo regime de chuvas. Nesses locais, observou-se sinal significativo para os meses de Janeiro e Abril, além de Maio em Patos de Minas e Outubro em Uberlândia (Figura 16 e Figura 17), sendo que todos apresentam relações positivas (Tabela 13), indicando que os eventos El Nina e *La Niña* podem contribuir para o aumento e/ou redução na precipitação pluvial, respectivamente. Quando consideradas as diferenças relativas máxima e mínima (Tabela 14), observa-se a predominância das diferenças positivas, indicando que o evento *El Niño* é mais marcante na região, ou seja, há predominância pelo aumento da precipitação pluvial durante eventos *El Niño*.

Quando analisadas as diferenças relativas durante os eventos *El Niño*, *La Niña* e Neutros, verifica-se o aumento da precipitação pluvial durante eventos *El Niño* em Capinópolis (0,16 e 0,32), Paracatu (0,09 e 0,15), Patos de Minas (0,17 e 0,54) e Uberlândia (0,09 e 0,43) nos meses de Janeiro e Abril, com destaque para as diferenças relativas de Abril, enquanto nos meses de Setembro em Capinópolis (-0,10) e Paracatu (-0,06), em Maio (-0,03) em Patos de Minas e Outubro (-0,10) em Uberlândia há redução na precipitação pluvial. Já os eventos *La Niña* estão consistentemente associados à redução na precipitação pluvial em Janeiro e Abril em Capinópolis (-0,34 e -0,15), Paracatu (-0,38 e -0,53) e Patos de Minas (-0,25 e -0,14), sendo seu efeito menor nesses meses em Uberlândia (-0,06 e -0,01). Ainda quanto aos eventos *La Niña*, constata-se consistente redução da precipitação pluvial em Capinópolis (-0,54) e Paracatu no mês de Setembro (-0,85) e em Patos de Minas no mês de Maio (-0,51), sendo seu efeito menor em Uberlândia no mês de Outubro (-0,01).

A partir do exposto sobre o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) em Capinópolis, Paracatu, Patos de Minas e Uberlândia, é possível inferir a relação consistente entre os eventos *El Niño* e o aumento da precipitação pluvial nos meses de verão, enquanto os eventos *La Niña* apresentam relação com a redução da precipitação pluvial ainda mais intensa durante o verão, estendendo-se até a primavera. Observa-se que os efeitos são mais intensos em Capinópolis, Paracatu e Patos de Minas do que em Uberlândia, o que pode ser atribuído à geografia desses locais, destacando-se a maior proximidade de Uberlândia do Vale do Rio Grande e o clima regional que ele condiciona, conforme os comentários apresentados para Guaíra, no Estado de São Paulo.

A questão é que os resultados obtidos para essa região, representada por Capinópolis, Paracatu, Patos de Minas e Uberlândia, contrariam os resultados obtidos para a região representada por Piracicaba, Limeira e Cravinhos, no estado de São Paulo, bem como a hipótese de que a região paulista era área de transição entre os efeitos do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) na região Sul, *El Niño* associado ao aumento da precipitação pluvial durante o inverno e a primavera com reduzido efeito do evento *La Niña*, e na região Nordeste, *El Niño* e *La Niña* associados à redução e ao aumento da precipitação pluvial, respectivamente, durante o verão. A despeito da contradição, há que se considerar que o fenômeno ENSO está relacionado ao regime de chuvas dessa região, donde é possível deduzir interações distintas daquelas assunções iniciais para as regiões Sul e Nordeste.

Grimm (2002) e Zhou e Lau (1997) destacam a carência de estudos, notadamente acerca das relações com o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO), sobre o clima da região Centro-Oeste do Brasil, caracterizado por regimes de chuvas distintos entre o inverno e o verão, a exemplo de Paracatu, Patos de Minas e Uberlândia, objeto de discussão no tópico 4.1.5.

Os resultados obtidos para o estado de Minas Gerais reiteram os obtidos por Minuzzi, Sediyama, Ribeiro e Costa (2005); ainda que os autores não considerem os eventos *La Niña*, seu trabalho teve o objetivo de caracterizar o início do período chuvoso, a quantidade de chuvas durante o período chuvoso e a ocorrência e duração dos veranicos em anos de ocorrência do evento *El Niño*. Para tanto, os autores analisaram dados de precipitação pluvial de 123 localidades do Estado de Minas Gerais e as relações entre a duração dos períodos chuvosos e/ou os inícios dos períodos chuvosos com os veranicos de duração de três a seis dias e de sete a dez dias, além dos inícios dos períodos chuvosos com os totais pluviométricos durante os períodos chuvosos. Os resultados indicaram a característica marcante do evento *El Niño* de provocar irregularidade na distribuição de chuvas em Minas, pois as chuvas tendem a ficar abaixo da média na metade nordeste, enquanto metade sudoeste do estado ocorre o oposto.

A relação dos resultados desses autores com os obtidos nesse trabalho permite verificar que eventos *El Niño* tendem a ocasionar chuvas marcadamente abaixo da média na região Norte do Estado (representada por Janaúba), chuvas acima da média climática nas regiões Central de Minas Gerais (representada por Sete Lagoas) e Noroeste (representada por Paracatu e Patos de Minas) além de chuvas ligeiramente abaixo da média na região Sul (representada por Lavras), e Sudeste, (representada por Viçosa).

Uma questão importante não abordada neste trabalho, mas considerada por Minuzzi, Sediyama, Ribeiro e Costa (2005), foram as estiagens ao Norte e Nordeste do Estado e as chuvas acima da média no Sudoeste, melhor correlacionadas com os veranicos de duração de três a seis dias durante eventos *El Niño*; além disso, o evento tende a retardar o início do período de chuvas no Centro, Norte e Nordeste do Estado.

Considerando o exposto sobre os resultados obtidos em São Paulo e Minas Gerais, observa-se que a condição de transição do clima da região Sudeste do Brasil está presente na influência do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO); contudo, a região apresenta resultados distintos dos observados nas regiões Sul e Nordeste do Brasil, bem como dos intermediários esperados. Devem ser levadas em conta as observações de Nimer (1989) a respeito do fato de que a circulação atmosférica sobre o Sudeste do Brasil resulta da influência do que o autor chamou de "correntes perturbadas".

No Sudeste, Nimer (1989) observou que "correntes perturbadas de sul" estão relacionadas a uma queda de temperatura sobre a região de sua atuação. Esse anticiclone caracteriza uma massa de ar polar, seco e estável, apresentando forte inversão térmica[4], e se origina da formação de um sistema frontal em latitudes médias; sua intensidade é proporcional ao contraste térmico produzido entre a massa fria polar e a massa quente tropical que predomina sobre a América do Sul. O contraste resulta em uma frontogênese proporcional ao total de chuvas, caso haja umidade disponível no continente.

Em sua trajetória de Sudoeste para Nordeste, o anticiclone absorve calor e umidade, ocasionando quedas de temperatura e precipitação pluvial na região Sudeste do Brasil. No inverno o continente apresenta baixa umidade, e a presença da frente fria associada ao anticiclone geralmente não causa chuvas no Sudeste; elas ocorrem na primavera e no verão, quando a frente alimentada pela umidade continental origina chuvas, ainda que nessas estações o anticiclone polar esteja enfraquecido. O enfraquecimento do anticiclone pode resultar na estacionalidade da frente durante dois a sete dias, implicando que no estado de Minas Gerais e parte do Estado paulista chova na primavera e no verão devido à atuação das frentes, mas com inverno seco.

---

[4] Descontinuidade térmica existente entre a Troposfera e a Estratosfera. A primeira camada é mais fria proporcionalmente a altitude. Já na Estratosfera, segunda camada atmosférica, a temperatura aumenta em maiores altitudes (BATTAN, 1979).

A região Sudeste, entre meados da primavera a meados do outono, é atingida regularmente por ventos de oeste a noroeste; a origem dessa circulação está associada às linhas de instabilidade tropicais (LIT) decorrentes da massa equatorial continental com centro de ação na Amazônia. No interior do Brasil o fenômeno é percebido com regularidade, sobretudo no verão, quando há uma queda geral da pressão devido ao forte aquecimento do continente; apesar de algumas vezes permanecer estacionária, na maioria das ocasiões a LIT se desloca com grande mobilidade, acompanhada por chuvas tipicamente tropicais ao entardecer. Essas características foram denominadas "correntes perturbadas de oeste" por Nimer (1989).

A circulação de leste para oeste, que freqüentemente chega à região Sudeste do Brasil, ainda não é suficientemente estudada para que se tenha uma idéia exata de sua dinâmica. Sabe-se, no entanto, que é característica do litoral das regiões tropicais atingidos por alísios, estando associadas a chuvas mais ou menos abundantes. Tal comportamento atmosférico foi observado por Nimer (1989) e denominado "correntes perturbadas de oeste".

A compreensão da climatologia do Sudeste foi descrita por Nimer (1989) segundo as condições disponíveis na época. O autor descreve a situação de forma confusa; por exemplo, observa frentes que devem chegar ao Sudeste e não chegam. Atualmente, sabe-se que tal comportamento está associado à Zona de Convergência do Atlântico Sul, cuja dinâmica se manifesta por meio da estacionalidade das frentes frias e pelas instabilidades tropicais (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004).

Com o advento da tecnologia de satélites meteorológicos, o avanço da computação e o estabelecimento das técnicas de modelagem numérica, são incorporados outros fatores à circulação geral da atmosfera, como o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO), evento que, por sua vez, afeta o Sudeste brasileiro em conseqüência da circulação de Walker. Essa circulação possui efeitos bem caracterizados no Sul, na Amazônia e no Nordeste brasileiros, além da região Sudeste. Porém, como as conseqüências econômicas e sociais na região em questão são de menor relevância, esses estudos tem sido mantidos à margem, o que não implica a necessidade de pesquisas maiores e mais complexas sobre os efeitos do fenômeno ENSO na região Sudeste, notadamente ao Norte de Piracicaba e Limeira, em São Paulo, e no estado de Minas Gerais.

4.1.5 Goiás

O clima do estado de Goiás caracteriza-se pelos períodos distintos de precipitação pluvial, inverno seco e o verão chuvoso, em razão do aumento da atividade convectiva segundo o deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (AYOADE, 1996). Assim, são necessários estudos da distribuição de chuva, pois, a média das informações não constitui um bom indicador do regime pluviométrico. Para tanto, é fundamental caracterizar a distribuição da precipitação pluvial pluviométrica, tratando os dados disponíveis de chuva mensal, analisando os seus padrões pluviométricos e, principalmente, identificando seus movimentos sazonais (ASSAD, 1994).

Observa-se que Rio Verde não apresentou relação significativa entre o regime de chuvas e o fenômeno ENSO (Figura 16 e Figura 17). Entretanto, de modo geral, nos meses de verão o regime de chuvas foi mais afetado pelo fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO), pois Brasília, Goianésia, Goiânia e Itumbiara apresentaram valor p significativo para o mês de Janeiro, além do mês de Março em Porangatu e Abril em Itumbiara (Figura 16).

Dadas as relações entre as diferenças relativas e os eventos El Nina e *La Niña* em Janeiro (Tabela 13), observam-se, à exceção de Itumbiara e Rio Verde, relações positivas para os demais locais. Tal fato, associado à predominância da diferenças relativas positivas (Tabela 14), indica que o evento *El Niño* pode estar associado ao aumento da precipitação pluvial no mês de Janeiro em Brasília, Goianésia e Goiânia.

Quando consideradas as diferenças relativas no mês de Janeiro durante eventos *El Niño*, são verificados aumentos da precipitação pluvial em Brasília (0,11), Goianésia (0,23), Goiânia (0,12) e Itumbiara (0,09), com a conseqüente redução da precipitação pluvial durante eventos *La Niña* da ordem de -0,33, -0,34, -0,17, -0,20 e -0,07, respectivamente aos locais citados. Considerando que as diferenças relativas nos períodos Neutros durante o mês de Janeiro em Brasília (0,03), Goianésia (-0,02), Goiânia (-0,10), foram inferiores às respectivas diferenças verificadas durante eventos *El Niño* e, principalmente, durante eventos *La Niña*, é possível inferir que o regime de chuvas na região delimitada por esses locais tem relação com o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO), destacando-se a redução na precipitação pluvial durante eventos *La Niña* mais pronunciada que o aumento da precipitação pluvial durante eventos *El Niño*.

Em Itumbiara, verificou-se que a diferença relativa nos períodos Neutros (0,18) no mês de Janeiro foi superior às respectivas diferenças durante eventos *El Niño* e *La Niña*, indicando que o fenômeno ENSO pode afetar o regime de chuvas da região durante o verão. Contudo, condições

locais, a exemplo de sua localização no vale do Paranaíba, apresentam maior interação com o clima que o fenômeno ENSO, o que dificulta a climatologia local. Essa complexidade do fenômeno ENSO no regime de chuvas de verão em Itumbiara é reiterada pelas diferenças relativas observadas em Abril durante eventos *El Niño* (1,00), *La Niña* (0,10) e Neutros (-0,18).

Observadas as diferenças relativas durante eventos *El Niño*, *La Niña* e Neutros em Itumbiara nos meses de Maio (0,40, -0,44 e 0,23), Setembro (-0,08, -0,54 e 0,18) e Outubro (0,32, -0,06 e -0,23), verifica-se maior consistência no inverno entre a redução da precipitação pluvial durante eventos *La Niña* do que seu aumento durante eventos *El Niño*, pois em Setembro há redução da precipitação pluvial durante eventos *El Niño* e maior expressão dos períodos Neutros. Já em Outubro a expressão dos eventos *La Niña* é pequena; porém, não é possível concluir que o evento *El Niño* contribui para o aumento da precipitação pluvial, pois as diferenças relativas em períodos Neutros são elevadas. Esses resultados corroboram a complexidade da climatologia em Itumbiara, sendo possível apenas concluir a consistência da relação entre eventos *La Niña* e a redução da precipitação pluvial durante o inverno.

Goianésia e Goiânia também apresentaram alguma relação entre o regime de chuvas e o fenômeno ENSO durante o inverno e a primavera (Figura 17). Observa-se que as relações entre as diferenças relativas e os eventos *El Niño* e *La Niña* foram positivas nesses locais, nos meses de inverno, e negativas nos meses de primavera (Tabela 13), indicando o aumento e/ou redução da precipitação pluvial em função dos eventos *El Niño* e *La Niña*, respectivamente, durante o inverno, e seus efeitos contrários durante a primavera. Porém, quando consideradas as diferenças relativas durante eventos *El Niño*, *La Niña* e Neutros, verificou-se maior contribuição dos períodos Neutros, da ordem de -0,34 e 12,75 para Goianésia e Goiânia, respectivamente, do que dos eventos *El Niño*, da ordem de -0,12 e 0,15 para Goianésia e Goiânia, respectivamente, ou de eventos *La Niña*, da ordem de 0,16 e -0,99 para Goianésia e Goiânia, respectivamente, o que implica menor importância dos eventos *El Niño* e *La Niña* para o regime de chuvas regional.

Deve-se ter em mente que o inverno e a primavera são períodos com reduzida precipitação pluvial na região, o que justifica os altos valores das diferenças relativas, em especial no mês de Agosto, porém não exclui a possibilidade de que eventos *La Niña* estejam associados ao aumento da precipitação pluvial, enquanto períodos *El Niño* e Neutros implicam na sua redução, notadamente durante a primavera.

Em Porangatu, localizada mais ao norte que a região goiana analisada e, portanto, passível de maior influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCI), observou-se valor p significativo em Março e Dezembro (Figura 16 e Figura 17), o que é coerente com o deslocamento da ZCI. Durante os eventos *El Niño* e *La Niña* observou-se diferença relativa da precipitação pluvial da ordem de -0,27 e -0,09, respectivamente, em Março e da ordem de -0,02 e -0,10, respectivamente, em Dezembro. Atentando para a diferença relativa nos períodos Neutros em Março (-0,10) e Dezembro (0,27), é possível inferir alguma consistência do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) para aumento e/ou redução na precipitação pluvial nos meses de Março e Dezembro, apesar da expressiva participação dos períodos Neutros.

Os resultados obtidos para os locais analisados no estado de Goiás indicam a complexidade entre as interações do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) e o regime de chuvas regional. Grimm (2002) destaca que os impactos do fenômeno ENSO durante o período chuvoso da "monções brasileiras" não têm sido estudados adequadamente em razão da pequena variação subsazonal, o que não implica a insistência de efeitos desse fenômeno sobre o clima regional. Nesse caso, verificou-se maior efeito do fenômeno ENSO durante o verão, o que é compatível com as chuvas convectivas dessa região resultantes do posicionamento ao sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCI). Porém, conforme destacado na Figura 18, eventos *La Niña* contribuem para o deslocamento da ZCI, enquanto eventos *El Niño* favorecem o bloqueio (NOBRE; SHUKLA, 1996), acarretando aumento da precipitação pluvial nos períodos *La Niña* e sua redução nos períodos *El Niño*, o que contraria os resultados obtidos.

Robertson e Mechoso (2000) concluem que a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) tem efeito marcante sobre o regime de chuvas das "monções brasileiras", destacando que a importância do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) para esse clima pode ser afetada uma vez que a ZCAS é fortemente influenciada pela evaporação na região amazônica. Nesse caso, Lenteres e Cook (1997) destacam que, uma vez que eventos *El Niño* estão associados à redução de precipitação pluvial na região amazônica, espera-se uma redução da atividade convectiva na Amazônia e da ZCAS no Brasil Central durante eventos *El Niño*, ou seja, há uma interação entre os efeitos remotos do evento *El Niño* na Amazônia e os efeitos locais da ZCAS (GRIMM, 2003).

Durante eventos *El Niño*, com a menor atividade convectiva na Amazônia, há deslocamento para a região do Brasil Central dos ventos de mais baixa altitude que sopram de Oeste, enquanto os ventos de maior altitude provenientes do Atlântico tendem a perder

intensidade e também concentrar-se sobre o Brasil Central, ou seja, há um duplo aumento na alimentação de umidade ao Brasil Central. Assim, embora a atividade convectiva no Brasil Central seja prejudicada pelo menor deslocamento da Zona de Convergência Intertropical, há aumento da umidade proveniente dos ventos de oeste e do Atlântico (GRIMM, 2003).

Os efeitos em questão são mais pronunciados quando o *El Niño* ocorre durante a primavera; assim, no princípio do verão as perturbações remotas prevalecem sobre a Amazônia promovendo alteração significativa na circulação geral, tanto em alta como em baixa altitude, que vai se ampliando no decorrer do verão. Portanto, essas condições explicam a maior precipitação pluvial verificada em de Janeiro no estado de Goiás durante eventos *El Niño*, que também contribuem para o aumento no regime de chuvas da região Sul do país. Em Fevereiro e Março, a expectativa é de que a excessiva precipitação pluvial de Janeiro e o conseqüente menor aquecimento da região do Brasil Central contribua para a redução na atividade convectiva e conseqüentemente da precipitação pluvial.

Neste estudo, embora Fevereiro não apresente valor p significativo para nenhum local avaliado de Goiás, observou-se menor diferença relativa da precipitação pluvial durante eventos *El Niño* em Brasília (-0,03) e Goianésia (-0,11). Já em Março, também a despeito do sinal não significativo, os efeitos repetiram-se em Brasília (-0,05), Goianésia (-0,14), Goiânia (-0,01) e Rio Verde (-0,16), o que corrobora a redução significativa verificada em Porangatu (-0,27) nesse mês durante eventos *El Niño*. Já em Itumbiara, a hipótese de efeitos da geografia local persiste, pois os efeitos do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) foram contraditórios aos demais observados em Goiás.

Quanto aos efeitos do evento *La Niña* em Goiás, é possível inferir que a redução na precipitação pluvial nos meses de verão também esteja associada à maior atividade convectiva na Amazônia, à ampliação da Zona de Convergência do Atlântico Sul e ao conseqüente deslocamento dos ventos de oeste para o Sul e o norte do Brasil Central, além do represamento dos ventos do Atlântico. Entretanto, tal hipótese carece de maiores estudos, bem como as conseqüências do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) no regime de chuvas do Brasil Central durante a primavera.

4.1.6 Bahia

De todos os locais avaliados neste estudo, Barreiras é o que se localiza mais ao Nordeste do Brasil; portanto, espera-se que seja onde os eventos *El Niño* e *La Niña* estejam associados à redução e ao aumento da precipitação pluvial, respectivamente, durante o verão.

Observa-se que em barreiras apenas o mês de Janeiro apresentou valor p significativo (Figura 16), o que é coerente com a assunção de efeitos do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) apenas no verão. Entretanto, a relação entre as diferenças relativas e os eventos do fenômeno ENSO foi positiva (Tabela 13), indicando que os eventos El Nina e *La Niña* podem estar associados ao aumento e/ou a redução na precipitação pluvial, respectivamente. Quando consideradas as diferenças relativas durante os eventos *El Niño*, *La Niña* e Neutros, observa-se a coerência com a relação e efeito marcante dos eventos ENSO, pois a diferença relativa durante eventos *El Niño* foi de 0,17, durante eventos *La Niña* de -0,46 e durante eventos Neutros foi nula, o que contraria o pressuposto de que o fenômeno ENSO atua no local de modo semelhante ao do Nordeste brasileiro, sugerindo semelhança com o Brasil Central. Porém, essa hipótese não fica clara quando se atenta para o fato de que as diferenças relativas durante eventos *El Niño* nos meses de Fevereiro (0,35) e Março (0,02) são positivas, quando para o Brasil Central são previstas diferenças negativas.

Observa-se também que a maior diferença foi negativa (Tabela 14), indicando que o evento *La Niña* tem efeito mais pronunciado no regime de chuvas desse local quando comparado ao evento *El Niño*. Nesse caso, é possível inferir um efeito semelhante ao descrito por Grimm (2003) para o Brasil Central, porém considerando o evento *La Niña*, pois além de o efeito mais pronunciado na redução da precipitação pluvial em Janeiro durante o evento *La Niña*, as diferenças relativas nos meses de Fevereiro e Março para eventos *La Niña* são positivas, 0,36 e 0,02, respectivamente. Assim, é possível concluir que durante eventos *La Niña*, notadamente quando ocorrem na primavera, há aumento da atividade convectiva na Amazônia e, conseqüentemente, da Zona de Convergência do Atlântico Sul, que desloca os ventos de oeste para o sul e bloqueia os ventos do Atlântico, contribuindo para a redução na alimentação da umidade local, a qual implica redução na atividade convectiva. Assim, a despeito do maior deslocamento da Zona de Convergência Intertropical durante eventos *La Niña* e o esperado aumento na precipitação pluvial local durante eventos *La Niña*, há redução da precipitação pluvial. Entretanto, tal hipótese ainda carece de maiores estudos para sua confirmação.

4.2 Parâmetros climáticos previstos pelo modelo Eta

Apesar de já destacado neste trabalho, é conveniente reiterar que a discussão dos resultados a seguir não tratará de aspectos climatológicos, mas apenas discutirá a possibilidade do emprego do modelo Eta para a previsão de parâmetros climáticos necessários à previsão do rendimento de grãos de milho pela aplicação de modelos de cultura. Neste caso os parâmetros diários necessários são: i) radiação incidente; ii) precipitação pluvial; iii) temperaturas máximas e mínimas do ar; iv) temperaturas máximas e mínimas da superfície do solo; e v) umidade relativa do ar. Também cabe ressaltar que não serão discutidos aspectos relacionados ao funcionamento do modelo e à coerência entre os parâmetros atmosféricos medidos e os estimados pelo modelo Eta; apesar de necessária tal discussão, entre os membros da equipe deste trabalho não há conhecimento detalhado sobre o seu funcionamento e tempo suficiente para o aprendizado

A despeito dessas considerações, os resultados obtidos podem, e devem, subsidiar estudos sobre o modelo Eta, contribuindo assim para o seu aprimoramento e para a evolução do conhecimento na previsão de parâmetros climáticos com ênfase na previsão de atividades agrícolas.

De modo geral, as previsões de precipitação pluvial realizadas pelo modelo Eta entre os dias 16 de Julho de 1997 a 15 de Junho de 2002 tenderam a minimizar as variações entre os dias quando comparadas às variações medidas, pois quando considerados todos os locais (Figura 20), o desvio médio das medidas de precipitação pluvial (10,4 mm) na série em questão foram superiores aos desvios médios das previsões de precipitação pluvial com 30 (7,6 mm), 60 (6,7 mm), 90 (6,4 mm) e 120 (6,0mm) dias de antecedência, havendo tendência de redução das amplitudes proporcionalmente ao período de antecedência da previsão.

No caso das previsões de temperatura pelo modelo Eta, embora não tão acentuada como na precipitação pluvial, observou-se a mesma tendência de minimização das amplitudes, pois considerando todas as localidades (Figura 20), o desvio médio das medidas de temperaturas máximas (3,5ºC) foi ligeiramente superior ao desvio médio das previsões com 30 dias de antecedência (3,4ºC) e igual ao desvio médio das previsões com 60, 90 e 120 dias de antecedência, enquanto o desvio médio das medidas de temperatura mínima (3,3ºC) foi igual à previsão com 120 dias de antecedência e ligeiramente superior às previsões com 30 (3,1ºC), 60 (3,1ºC) e 90 (3,2ºC).

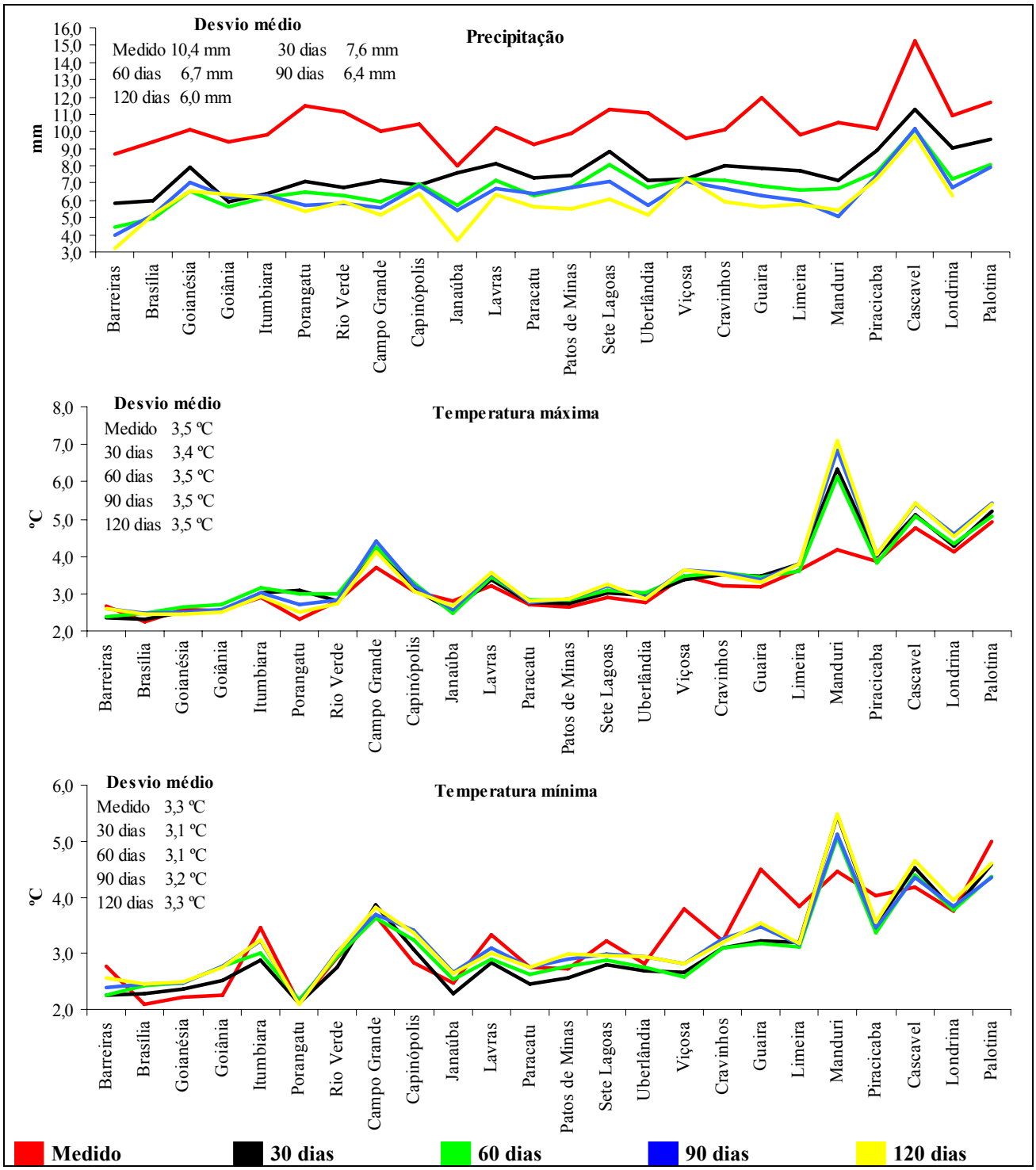


Figura 20 – Desvio em relação à média das medidas e previsões realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência de precipitação pluvial (mm), temperatura máxima (ºC) e temperatura mínima (ºC) em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil

As previsões do modelo Eta entre os dias 16 de Julho de 1997 e 15 de Junho de 2002, quando observadas as precipitações pluviais médias dos 24 locais, tenderam a subestimar as precipitações pluviais, pois a média das precipitações pluviais medida (4,0 mm) foi igual ou superior às respectivas médias estimadas com 30 (4,0 mm), 60 (3,5 mm), 90 (3,5 mm) e 120 (3,2 mm) dias de antecedência (Figura 21). A tendência de subestimar a previsão da precipitação pluvial pelo modelo Eta não é corroborada pelas medianas das precipitações pluviais medidas (0,0 mm), que foi inferior às medianas estimadas com 30 (0,5 mm), 60 (0,2 mm), 90 (0,3 mm) e 120 (0,2 mm) dias de antecedência (Figura 22), ou seja, a maior precipitação pluvial não é resultado exclusivo de valores extremos, e sim de erros na previsão em todo período considerado.

No caso das temperaturas, houve tendência à subestimativa das temperaturas máximas e à superestimativa das temperaturas mínimas, corroborando a menor amplitude nos desvios verificada para as temperaturas previstas em relação à amplitude das temperaturas medidas. A média (29,6ºC) das temperaturas máximas medidas foi superior às médias das temperaturas máximas estimadas com 30 (27,3ºC), 60 (28,1ºC), 90 (28,7ºC) e 120 (29,3ºC) dias de antecedência, enquanto a média (17,5ºC) das temperaturas mínimas medidas foi inferior às médias das temperaturas mínimas estimadas com 30 (18,4ºC), 60 (18,2ºC), 90 (18,5ºC) e 120 (18,6ºC) dias de antecedência (Figura 21). De modo semelhante à precipitação pluvial, essas médias não são afetadas por valores extremos, pois a mediana (30,0ºC) das temperaturas máximas medidas também foi superior às respectivas medianas estimadas com 30 (27,5ºC), 60 (28,1ºC), 90 (28,9ºC) e 120 (29,5ºC) dias de antecedência, enquanto a mediana (18,3ºC) das temperaturas mínimas medidas foi superior às medianas das temperaturas máximas estimadas com 30 (18,8ºC), 60 (18,7ºC), 90 (18,9ºC) e 120 (19,0ºC) dias de antecedência (Figura 22).

Há que se considerar que os resultados obtidos corroboram a tendência de normalização das previsões diárias de precipitação pluvial e temperatura, notadamente a subestimativa e superestimativa das temperaturas máximas e mínimas. Assim, dos resultados obtidos é possível inferir que o modelo Eta, por tratar da interação entre a circulação geral na atmosfera e a topografia (CHOU; NUNES; CAVALCANTI, 2000), não considerou adequadamente as variações e interações possíveis entre os elementos da circulação da atmosfera e os elementos da topografia, sendo possível que esses resultados estejam mais relacionados com à topografia do que à circulação. Nesse caso, é possível inferir que alterações na topografia do modelo

(DERECZYNSKI; ROZANTE; CHOU, 2000) talvez contribuam para a melhoria das previsões diárias de parâmetros climáticos pelo modelo Eta.

Consideradas as previsões geradas pelo modelo Eta com ênfase na estimativa da produção agrícola, notadamente no caso de culturas anuais, é possível inferir que a normalização dos parâmetros climáticos previstos pelo modelo Eta afeta os resultados dos modelos de cultura. No caso do milho na região Centro-Sul do Brasil, é possível deduzir o efeito positivo das previsões do modelo Eta sobre a estimativa do rendimento de grãos, pois apesar da menor precipitação pluvial média prevista, essa foi mais bem distribuída no tempo, além da menor amplitude entre as temperaturas, fatores que, segundo Duarte e Paterniani (2000) e Fancelli e Dourado Neto (2000), são condições favoráveis ao rendimento de grãos da cultura. Entretanto, estão sendo analisados os erros das previsões de precipitação pluvial e temperatura do modelo Eta em período de tempo amplo, compreendendo todas as estações do ano. Assim, antes de qualquer conclusão sobre as previsões do modelo Eta, deve-se atentar para a distribuição sazonal das diferenças entre as previsões do modelo e os valores medidos de precipitação pluvial e temperatura para sua aplicação na Previsão de Safras, pois a maior ou menor concentração de erros durante o período de produção agrícola considerado afetará a estimativa do modelo de cultura.

Além da questão sazonal, conforme pode ser observado pela distribuição espacial das diferenças relativas entre as médias e medianas (Figura 23 a Figura 25), além das diferenças relativas entre os desvios em relação à média e aos valores máximos (Figura 24 a Figura 28) dos valores medidos de precipitação pluvial, temperatura máxima e mínima, e os respectivos valores previstos pelo modelo Eta entre os dias 16 de Julho de 1997 e 15 de Junho de 2002, há que se considerar a interferência de efeitos locais nas previsões do modelo Eta, o que, além de corroborar o efeito da topografia nas previsões, afetará a estimativa do modelo de cultura.

Nos tópicos 4.2.1 a 4.2.6 a seguir serão discutidas as previsões de precipitação pluvial e de temperatura do modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência nos 24 locais, agrupados, por questões didáticas, segundo as unidades da federação. Nessa discussão serão consideradas as diferenças relativas, expressas pelo quociente entre o valor previsto e o respectivo valor medido, entre as previsões e as medições de precipitação pluvial e temperatura. Para tanto, serão consideradas as diferenças relativas mensais e as diferenças relativas diárias, além das diferenças relativas entre a média móvel com intervalo de cinco dias, entre os dias 16 de Julho de 1997 e 15 de Junho de 2002.

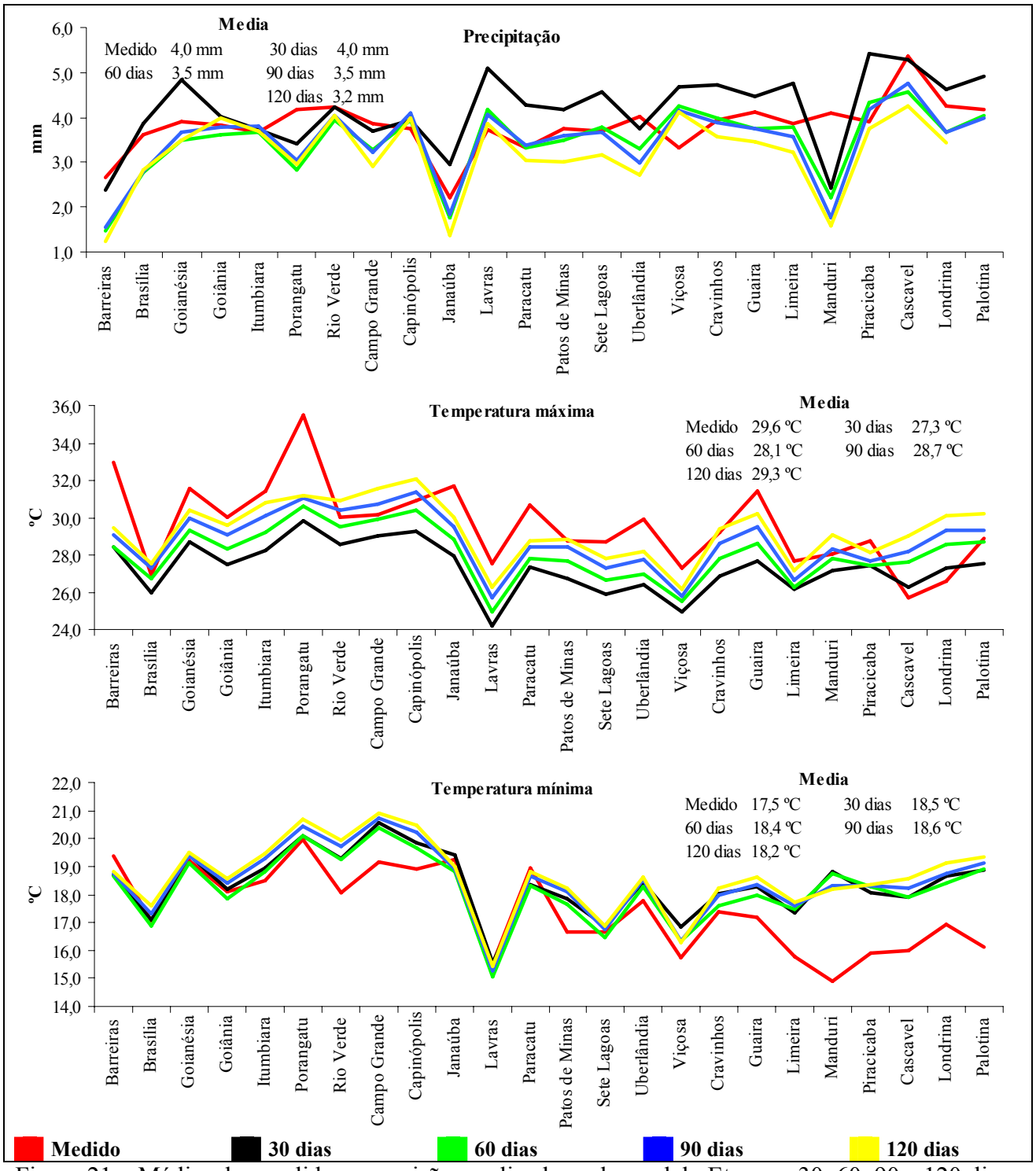


Figura 21 – Médias das medidas e previsões realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência de precipitação pluvial (mm), temperatura máxima (ºC) e temperatura mínima (ºC) em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil

Figura 22 – Medianas das medidas e previsões realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência de precipitação pluvial (mm), temperatura máxima (ºC) e temperatura mínima (ºC) em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil

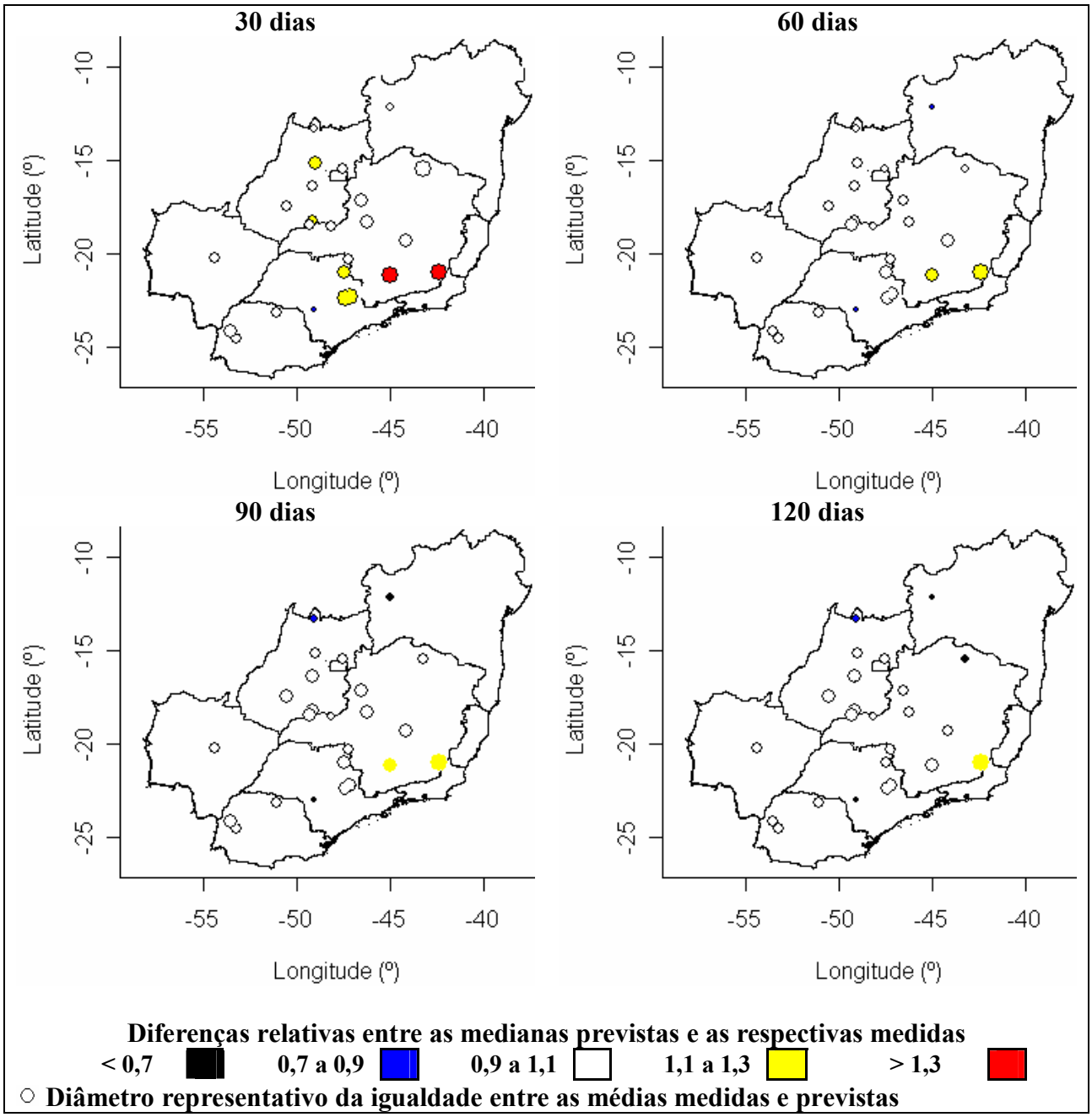


Figura 23 – Distribuição espacial das diferenças relativas entre as médias e as medianas das medidas e das previsões de precipitação pluvial realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil. Os diâmetros das legendas são proporcionais à média

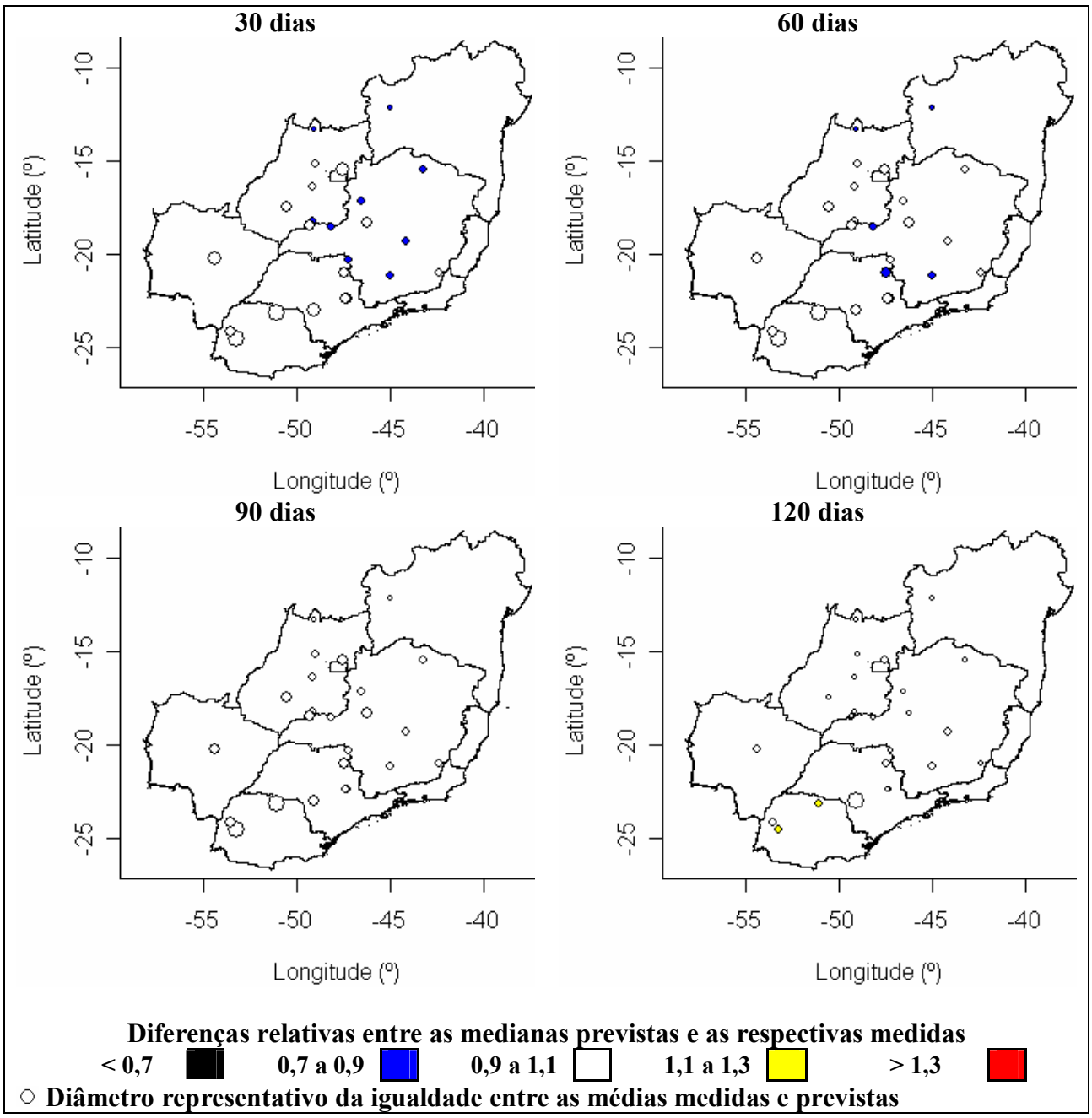


Figura 24 – Distribuição espacial das diferenças relativas entre as médias e as medianas das medidas e das previsões de temperatura máxima realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil. Os diâmetros das legendas são proporcionais à média

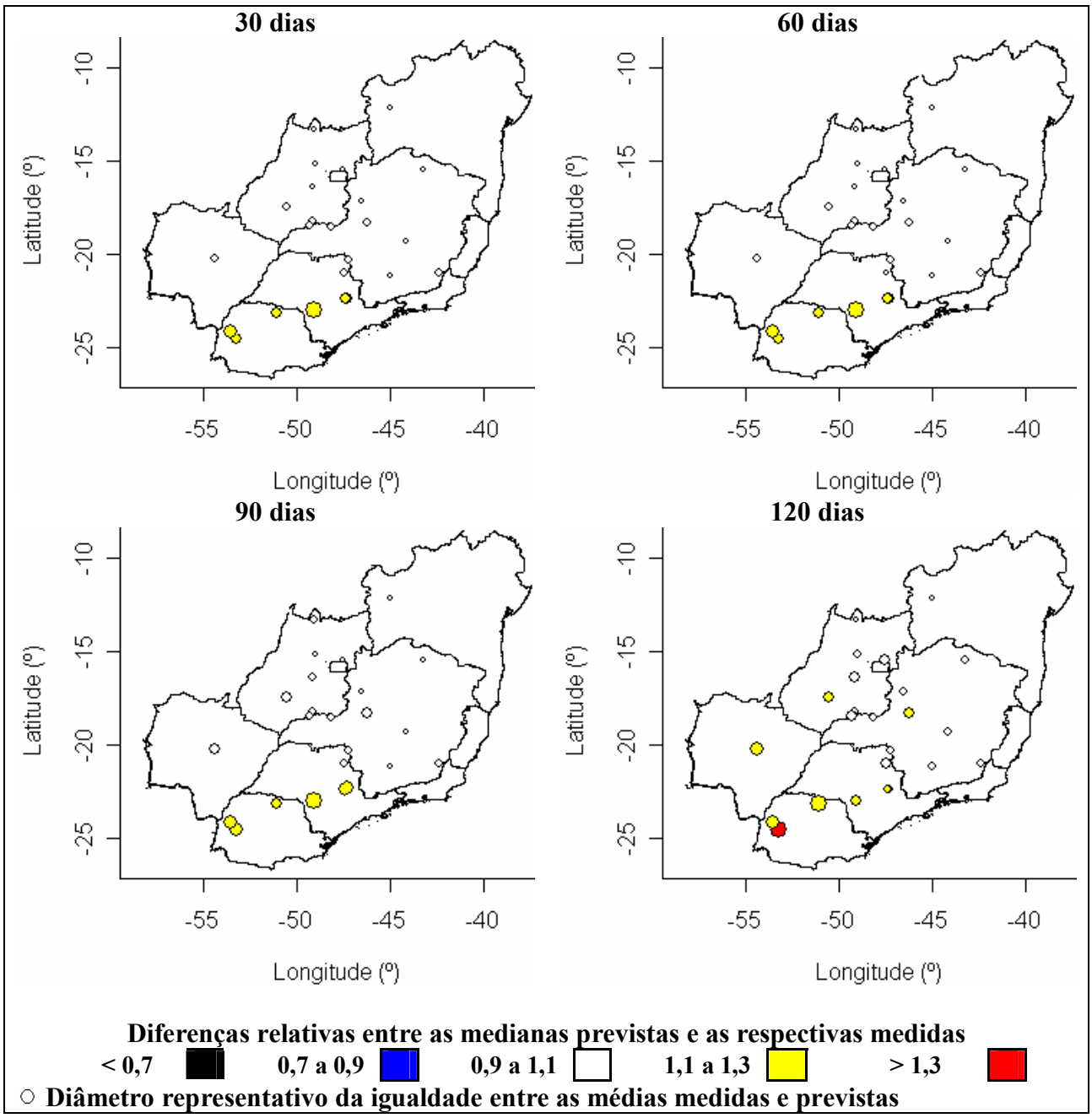


Figura 25 – Distribuição espacial das diferenças relativas entre as médias e as medianas das medidas e das previsões de temperatura mínima realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil. Os diâmetros das legendas são proporcionais à média

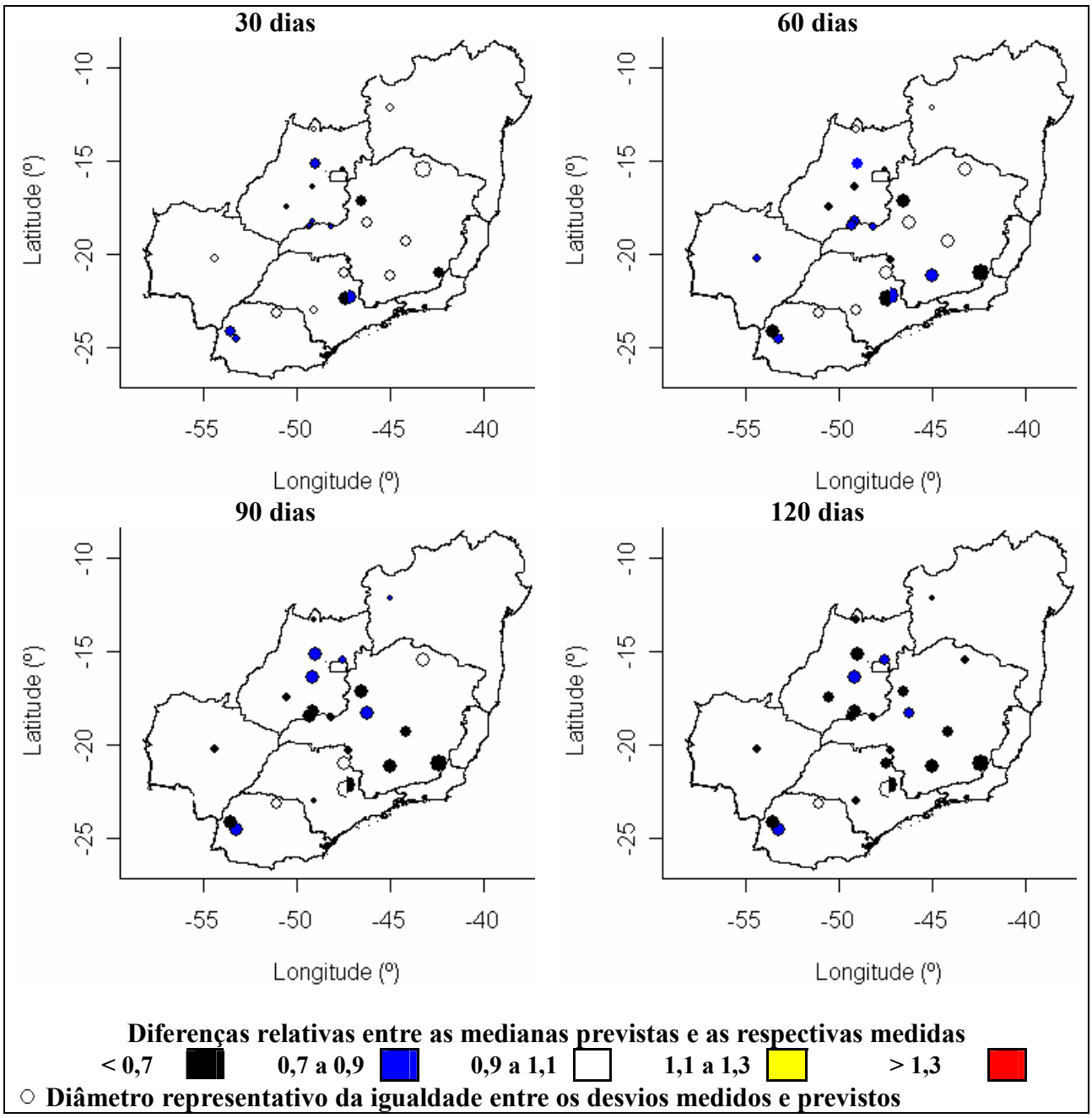


Figura 26 – Distribuição espacial das diferenças relativas entre os desvios em relação à média e os valores máximos das medidas e das previsões de precipitação pluvial realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil. Os diâmetros das legendas são proporcionais ao desvio

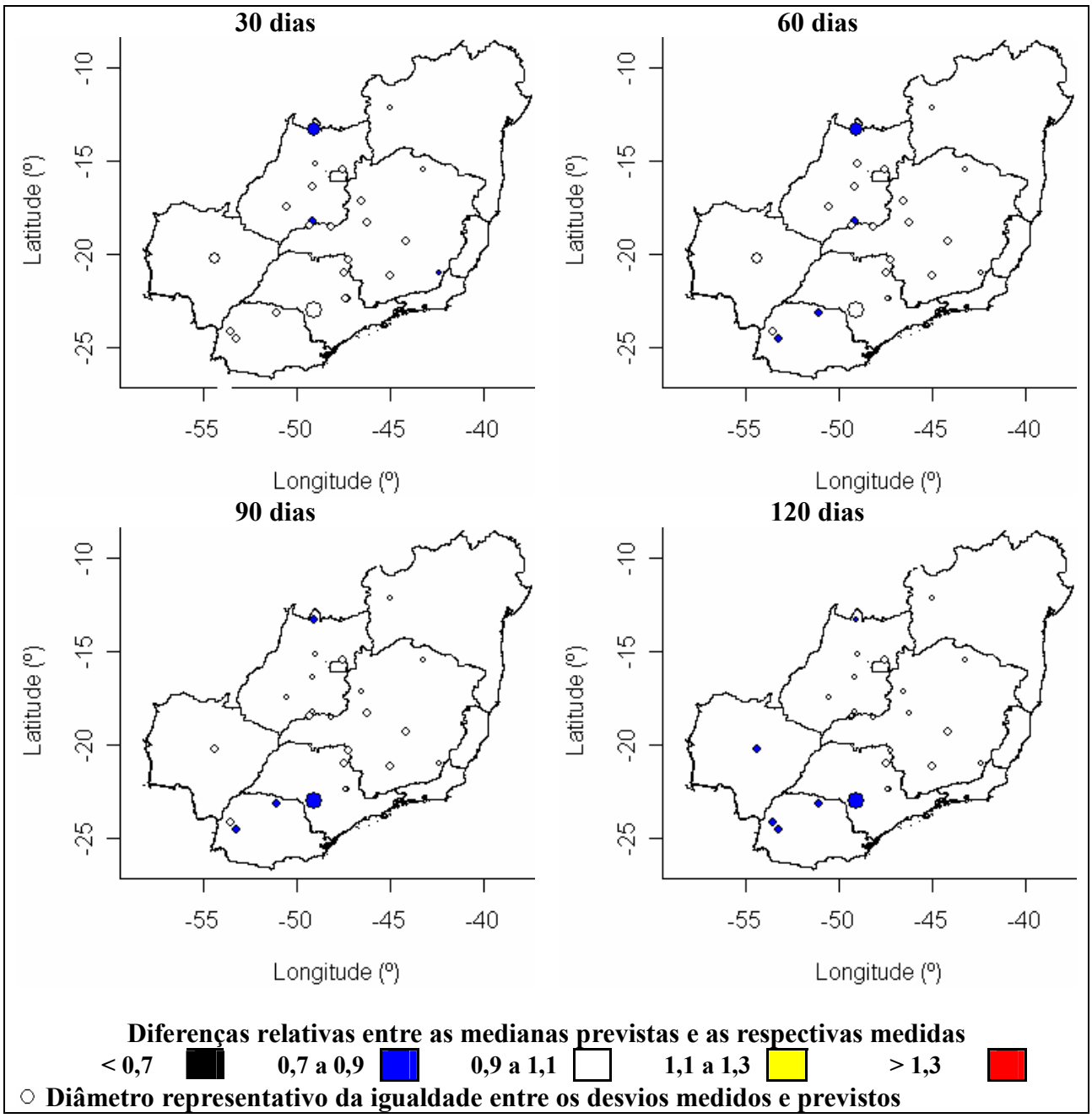


Figura 27 – Distribuição espacial das diferenças relativas entre os desvios em relação à média e os valores máximos das medidas e das previsões de temperatura máxima realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil. Os diâmetros das legendas são proporcionais ao desvio

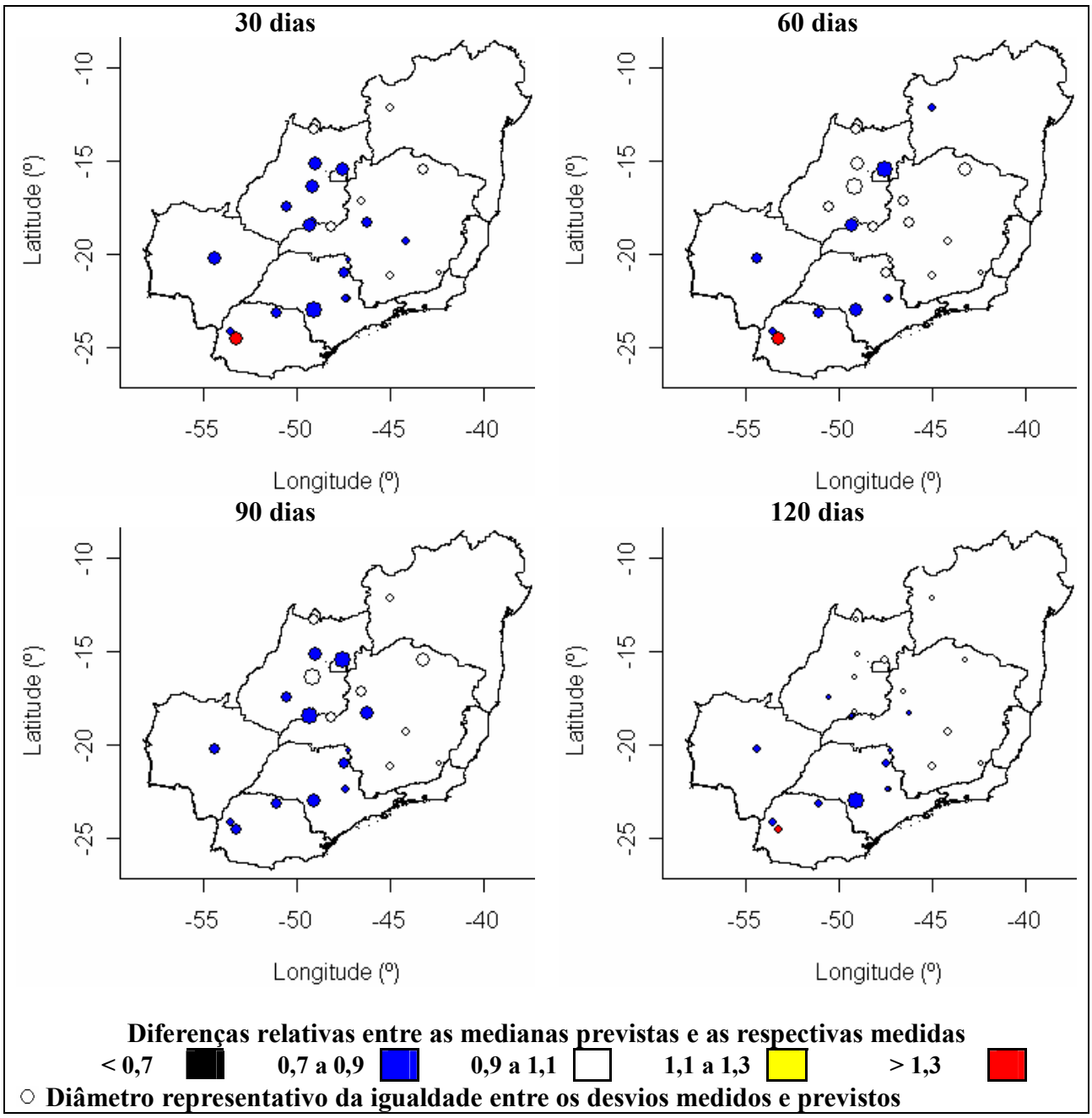


Figura 28 – Distribuição espacial das diferenças relativas entre os desvios em relação à média e os valores máximos das medidas e das previsões de temperatura mínima realizadas pelo modelo Eta com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil. Os diâmetros das legendas são proporcionais ao desvio

4.2.1 Paraná

Dentre os 24 locais considerados neste estudo, os situados no Estado do Paraná foram aqueles com as maiores amplitudes em relação à média de precipitação pluvial e temperatura medidos (Figura 20), notadamente Cascavel e Palotina, fato que dificulta a previsão de parâmetros climáticos (CHOU; BUSTAMANTE; GOMES, 2005).

Essas amplitudes são atribuídas às frentes frias oriundas de altas latitudes que avançam rapidamente para o norte e para o leste, principalmente durante o inverno na região Sul da América do Sul. Esses sistemas frontais avançam até atingir a latitude da Corrente de Jato Subtropical (Figura 3), a qual restringe o avanço das frentes, promovendo forte atividade convectiva, implicando aumento das precipitações pluviais (ARKIN, 1982). Portanto, a circulação atmosférica e, conseqüentemente, o regime climático dessa região é bastante dinâmico e complexo quando comparado aos regimes de latitude menores.

Outro fator a ser considerado para essa região é o efeito da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que afeta o escoamento em baixos níveis, intensificando a convergência de umidade e, combinado à Corrente de Jato Subtropical, intensifica a frontogênese, influindo na instabilidade convectiva (HURREL; VINCENT, 1991). Por atuar principalmente em baixos níveis, a atividade da ZCAS é bastante dependente da topografia local, o que, combinado ao rápido avanço das Frentes Frias descrito no parágrafo anterior, amplia os efeitos da topografia sobre o clima, propiciando condições locais bastante distintas e dinâmicas. Essa diversidade espacial e o dinamismo temporal das condições climáticas na região dificultam a previsão numérica de parâmetros climáticos, em comparação com as previsões em latitudes menores.

No caso das previsões de precipitação pluvial realizadas pelo modelo Eta para Cascavel, Londrina e Palotina, observa-se redução do desvio absoluto em relação à média, redução essa proporcional ao aumento do período de antecedência da previsão. Em Cascavel, os desvios das previsões de precipitação pluvial para 30 (11,3 mm), 60 (10,1 mm), 90 (10,1 mm) e 120 (98,8 mm) dias de antecedência foram inferiores ao desvio medido (15,2 mm). Em Londrina, os desvios das previsões de precipitação pluvial para 30 (9,1 mm), 60 (7,3 mm), 90 (6,7 mm) e 120 (6,3 mm) dias de antecedência também foram inferiores ao desvio medido (11,0 mm), tendência confirmada para Palotina, que apresentou desvios das previsões de precipitação pluvial para 30 (9,6 mm), 60 (8,1 mm), 90 (7,9 mm) e 120 (7,4 mm) dias de antecedência também inferiores ao desvio medido (11,7 mm).

Quando comparados os desvios em relação à média das diferenças relativas das precipitações pluviais estimadas pelo modelo ETa (Figura 26), observa-se que em todos os locais e períodos de antecedência de previsão a diferença relativa foi inferior à 70%, indicando a minimização significativa das amplitudes entre os dias das previsões de precipitação pluvial. Nota-se ainda que os valores decresceram linearmente em relação à antecedência da previsão, pois em Cascavel, Londrina e Palotina as diferenças relativas entre as médias previstas com 30 dias de antecedência e os respectivos valores medidos foram de 0,73, 0,82 e 0,81, respectivamente, enquanto as diferenças relativas das médias previstas com 120 dias de antecedência foram de 0,54, 0,67 e 0,63, respectivamente aos locais.

As diferenças relativas das médias das precipitações pluviais estimadas com 30 dias de antecedência não foram significativas para Cascavel (0,98) e Londrina (1,01), e pouco superestimadas para Palotina (1,17); porém, todas decresceram linearmente até 0,79 para as previsões com 120 dias de antecedência, tornando-se pouco subestimadas já nas previsões com 60 dias de antecedência em Cascavel e Londrina, enquanto Palotina permaneceu significativa para as previsões com 60 e 90 dias de antecedência (Figura 23).

Quando consideradas as medianas (Figura 22) em Cascavel, Londrina e Palotina, constata-se uma tendência de maior precipitação pluvial em todas as previsões nesses locais; entretanto, com exceção das previsões de precipitação pluvial para Cascavel com 90 e 120 dias de antecedência que foram consideradas superestimada e pouco superestimada, respectivamente, as demais diferenças relativas das medianas não foram significativas (Figura 23).

Os desvios em relação à média das temperaturas máximas previstas com 30 (5,1ºC), 60 (5,1ºC), 90 (5,4ºC) e 120 (5,4ºC) dias de antecedência, assim como das temperaturas mínimas também previstas com 30 (4,5ºC), 60(4,4ºC), 90 (4,5ºC) e 120 (4,7ºC) dias de antecedência, foram maiores que o desvio das temperaturas máximas (4,8ºC) e mínimas (4,2ºC) medidas em Cascavel; essa tendência, com exceção das temperaturas mínimas em Palotina, foi mantida em Londrina e Palotina (Figura 20). Não obstante as disparidades entre os desvios das temperaturas máximas (Figura 27) e mínimas (Figura 28) previstas e medidas, com exceção das diferenças relativas dos desvios das previsões de temperatura máxima com 90 e 120 dias de antecedência, as demais não foram significativas. Os resultados indicam que o modelo Eta estima adequadamente as variações de temperatura nesses locais com até 90 dias de antecedência; após esse período, tende a prever amplitudes maiores que as ocorridas para as temperaturas máximas.

No tocante às médias das temperaturas (Figura 21), com exceção das previsões de temperatura máxima com 30 dias de antecedência em Palotina, as demais previsões de temperatura máxima e mínima médias foram maiores que as medidas, destacando-se o fato de que todas as diferenças relativas entre as médias das temperaturas mínimas previstas foram pouco superestimadas (Figura 28), enquanto as diferenças relativas entre as médias das temperaturas máximas previstas e estimadas foram não significativas para Cascavel, Palotina e Londrina com 30 e 60 dias de antecedência. Esses resultados são coerentes com as medianas das temperaturas (Figura 22), a exceção foi da temperatura máxima estimada com 30 (28,0ºC) e 60 (29,3ºC) dias de antecedência para Londrina, que apresentou mediana menor que a mediana das temperaturas máximas medidas (29,9ºC).

As observações sobre as previsões de precipitação pluvial e temperatura entre os dias 16 de Julho de 1997 e 15 de Junho de 2020, geradas pelo modelo Eta em Cascavel, Londrina e Palotina sugerem que o uso dessas previsões para a estimativa do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura, se por um lado pode superestimar o rendimento em função das temperaturas mínimas mais elevadas e da precipitação pluvial melhor distribuída temporalmente, por outro pode subestimar o rendimento em função da maior amplitude térmica e da menor precipitação pluvial média. Entretanto, essas observações não consideram as variações sazonais da previsão, notadamente durante o período de cultivo normal do milho na região em questão, o qual, segundo Embrapa Milho e Sorgo (2005b), ocorre entre os meses de Setembro a maio.

No caso das diferenças sazonais, devem ser considerados os erros diários entre as previsões e as medidas. Em Cascavel, observa-se que as previsões de precipitação pluvial com 30 dias de antecedência não apresentaram diferenças consideráveis, pois, já a média das diferenças relativas diárias (Média 0) foi igual à unidade, valor mantido para as médias das diferenças relativas das médias móveis com intervalo de cinco dias (Média 5). Corroborando a acurácia da previsão de precipitação pluvial para Cascavel com 30 dias de antecedência, observa-se que as medianas das diferenças relativas diárias (Mediana 0) e das diferenças relativas entre as médias móveis com intervalo de cinco dias (Mediana 5) foi igual à unidade (Tabela 15).

Nas previsões de precipitação pluvial com 60, 90 e 120 dias de antecedência em Cascavel, observa-se redução na acurácia em relação ao aumento da antecedência da previsão, pois a média das diferenças relativas diárias (Média 0) reduz-se até 0,79 na previsão com 120 dias de antecedência, segundo a classificação adotada; já a previsão com 60 dias de antecedência pode ser

considerada pouco subestimada. Porém, quando considerada a média das diferenças relativas entre as médias móveis (Média 5), observa-se que apenas na previsão com 120 dias de antecedência a previsão pode ser considerada subestimada. Esses resultado indicam que os erros de previsão concentram-se em um lapso de tempo inferior a cinco dias, o que é corroborado pelas medianas das diferenças relativas diárias (Mediana 0) e das diferenças relativas entre as médias móveis iguais à unidade (Tabela 16 a Tabela 18).

Já em Londrina e Palotina as médias diárias (Média 0) das diferenças relativas entre as previsões de precipitação pluvial com 30 dias de antecedência e as respectivas medidas foram pouco superestimadas (Tabela 15), passando à não significativas nas previsões realizadas com 60 (Tabela 16) e 90 (Tabela 17) dias de antecedência e, reduzindo para 0,80 e 0,84, pouco subestimadas, nas previsões realizadas com 120 dias de antecedência. Quando levadas em conta as diferenças relativas entre as médias móveis com intervalo de cinco dias das previsões com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência e as respectivas médias das medidas, embora todos os valores sejam considerados não significativos, observa-se tendência de subestimação da precipitação pluvial, com o aumento do período de antecedência da previsão. Porém, quanto consideradas as medianas, é possível inferir a acurácia das previsões de precipitação pluvial do modelo Eta para esses locais, pois todas foram iguais à unidade (Tabela 15 a Tabela 18).

Uma questão a ser apontada com relação à previsão da precipitação pluvial com 30 dias de antecedência em Cascavel, Londrina e Palotina, é o valor da máxima diferença relativa diária (Máximo 0)[5], indicando que o modelo pode ter previsto alguma das altas precipitações pluviais diárias, porém em período distinto do ocorrido. Já o valor da máxima diferença relativa entre as médias móveis (Máximo 5), embora bastante inferior ao da máxima diferença relativa diária, indica que o erro de previsão das altas precipitações pluviais tende a ser maior do que cinco dias (Tabela 15).

Quanto às temperaturas máximas, observa-se nas Tabela 19 a Tabela 22 que as previsões com até 60 dias de antecedência apresentaram médias diárias (Média 0) e das médias móveis (Média 5) das diferenças relativas entre os valores previstos e os medidos de temperatura máxima consideradas não significativos, passando a pouco superestimados nas previsões com 90 e 120 dias de antecedência em Cascavel e Londrina. Em Palotina, apesar das médias das previsões com 90 e 120 dias de antecedência também aumentarem, foram consideradas não significativas, pois

nesse local as temperaturas máximas medidas, em média (Figura 21), são maiores que as medidas em Cascavel e Londrina, o que minimiza o erro de previsão de temperatura pelo modelo Eta.

No caso das previsões das temperaturas mínimas (Tabela 23 a Tabela 26) em Cascavel, Londrina e Palotina, também foi observada a mesma tendência de superestimativa, ainda que com diferenças relativas maiores. Assim, nesses locais, todas as médias das diferenças relativas diárias (Média 0) foram consideradas pouco superestimadas, enquanto as médias da diferenças relativas entre médias móveis com intervalo de cinco dias foram tidas como pouco superestimadas para Cascavel e Londrina e superestimadas para Palotina.

Quando consideradas as previsões de temperatura pelo modelo Eta, além da questão de minimização das amplitudes já comentada anteriormente, e corroboradas pelas diferenças relativas máximas e mínimas entre valores diários de temperatura (Máximo0 e Mínimo0) e valores das médias móveis com cinco dias de intervalo (Máximo5 e Mínimo5), apresentados nas Tabela 19 a Tabela 26, de modo geral o modelo Eta tendeu a superestimar as temperaturas, sendo que as diferenças relativas foram crescentes com o aumento da antecedência da previsão. Essa afirmação é confirmada pela análise das medianas das diferenças relativas (Tabela 19 a Tabela 26), pois em todos os locais e períodos de antecedência da previsão tanto as medianas das diferenças diárias (Mediana 0) quanto as medianas entre médias móveis com cinco dias de intervalo (Mediana 5) foram superiores à unidade e crescentes com ao aumento do período de antecedência da previsão.

Em geral, pode-se inferir que as previsões de temperatura com períodos de antecedência variando entre 30 a 120 dias, e de precipitação pluvial com 30 dias de antecedência, realizadas pelo modelo Eta para os locais do Paraná, tendem a superestimar a previsão. No caso da temperatura, a diferença aumenta com a antecedência da previsão, ao passo que para a precipitação pluvial a diferença é reduzida com o aumento do período de antecedência da previsão, passando a subestimar ligeiramente as previsões já com 60 dias de antecedência; porém, a subestimativa da precipitação pluvial passa a ser problemática apenas nas previsões com 120 dias de antecedência.

No caso da previsão do rendimento de grão de milho por modelo de cultura empregando as previsões de precipitação pluvial do modelo Eta para os locais do Paraná, a princípio pode-se inferir que as diferenças de precipitação pluvial contribuam para a subestimativa do rendimento

---

[5] Quociente máximo entre o parâmetro climático previsto pelo modelo Eta e o respectivo parâmetro medido.

de grãos de milho; contudo, essa inferência pode não ser verdadeira quando consideradas as médias das diferenças entre médias móveis com intervalo de cinco dias, bem como as medianas das diferenças relativas diárias e das diferenças relativas entre as médias móveis, bastante próximas da unidade (Tabela 15 a Tabela 18). No caso da temperatura, é possível deduzir que a minimização das amplitudes e o aumento das temperaturas previstas contribuam para que o modelo de cultura superestime o rendimento de grãos de milho. Tais inferências, bem como a sazonalidade das diferenças relativas, devem ser observadas quando da análise da acurácia do modelo de culturas para a estimativa do rendimento de grãos de milho.

No caso da distribuição durante o ano das diferenças relativas, observou-se maior concentração de superestimativa das previsões de precipitações pluviais com 30 dias de antecedência nos meses de Agosto e Setembro em Cascavel e Londrina e nos meses de Junho a Setembro em Palotina, implicando que essas superestimativas não devem ser problemáticas para a aplicação de modelos de cultura na estimativa da produção de milho, por ocorrerem em período distinto do recomendado para cultivo dos grãos na região, segundo Embrapa Milho e Sorgo (2005b). Já as subestimativas das previsões de precipitação pluvial com 60, 90 e 120 dias de antecedência se concentraram nos meses de Dezembro a Março, ou seja, durante o período recomendado para cultivo de milho na região segundo Embrapa Milho e Sorgo (2005b). A subestimativa implica problema para a aplicação dessas previsões na estimativa do rendimento de grãos de milho por modelos de cultura, notadamente em Palotina, cidade que, em Janeiro, apresentou as maiores medianas das diferenças relativas entre as previsões mensais com 90 (0,89) e 120 (0,81) dias de antecedência, enquanto as demais medianas variaram entre 0,9 e 1,0.

A sazonalidade das medianas das diferenças relativas entre as previsões e os valores medidos de temperatura indica que as previsões com 30 dias de antecedência em Cascavel tenderam a subestimar pouco a temperatura máxima nos meses de Julho (0,87), Agosto (0,89) e Setembro (0,89), e a superestimar as previsões com 30 dias de antecedência das temperaturas mínimas no mês de Maio (1,31). Nos demais meses e períodos de antecedência de previsão, as temperaturas máximas apresentaram medianas das diferenças relativas variando entre 1,00 a 1,08, enquanto as medianas das diferenças das temperaturas mínimas variou entre 1,05 a 1,19.

Em Londrina, as menores medianas das diferenças entre as médias mensais das temperaturas máximas previstas com 30 dias de antecedência e as respectivas temperaturas medidas ocorreram nos meses de Julho (0,98) e Agosto (0,99). Para os demais meses o maior

valor foi 1,05, em Novembro. Nas previsões com 60 dias de antecedência, as medianas das diferenças entre as médias mensais das temperaturas máximas variaram entre 1,00 e 1,05 em todos os meses do ano, enquanto que as medianas das temperaturas mínimas variaram entre 1,00 e 1,10, com exceção dos meses de maior (1,15) e Novembro (1,13). Nas previsões com 90 e 120 dias de antecedência, em todos os meses do ano, tanto as medianas das diferenças entre as médias mensais das temperaturas máximas previstas e as respectivas medidas quanto as medianas das diferenças relativas entre as médias mensais das temperaturas mínimas variaram entre 1,10 e 1,18, ou seja, consideradas pouco superestimadas.

Em Palotina, as medianas das diferenças relativas entre as médias mensais das previsões das temperaturas máximas com 30 dias de antecedência e as respectivas medidas foram pouco subestimadas nos meses de Junho (0,89), Julho (0,88) e Agosto (0,87); nos meses entre Setembro e maio, essas medianas variaram de 0,94, em Setembro, a 1,00, entre Novembro a Fevereiro. Para as temperaturas mínimas, as medianas das diferenças relativas entre as médias mensais previstas com 30 dias de antecedência e as medidas variaram entre 1,12, nos meses de Novembro a Abril, e 1,30 nos meses de Maio e Junho. Comportamento e valores semelhantes foram observados para as previsões realizadas com 60, 90 e 120 dias de antecedência.

Considerando a sazonalidade das previsões de temperatura pelo modelo Eta, é possível inferir que as subestimativas das previsões não comprometem a aplicação dessas previsões em modelos de cultura para a previsão do rendimento de grãos de milho, pois, segundo Embrapa Milho e Sorgo (2005b), ocorrem em períodos distintos da época recomendada para o cultivo de milho na região. Já com relação às superestimativas, tanto das temperaturas máximas quanto das temperaturas mínimas, essas ocorrem durante o período recomendado para o cultivo de milho na região e, em geral, apresentam diferenças significativas com as respectivas medidas, o que pode prejudicar a utilização dessas previsões. Nesse caso, observa-se que as maiores diferenças ocorrem nas previsões das temperaturas mínimas, podendo, portanto, contribuir para a subestimativa no rendimento de grãos de milho por modelos de cultura, considerando que as temperaturas mínimas são mais relacionadas às temperaturas noturnas (PEREIRA; MACHADO, 1987; GOUDRIAAN; LAAR, 1994) e que, segundo Dourado Neto (2000), temperaturas noturnas elevadas contribuem para a redução no rendimento de grãos de milho.

4.2.2 Mato Grosso do Sul

Em Campo Grande, observa-se que o desvio absoluto em relação à média das precipitações pluviais e das temperaturas máximas e mínimas medidas, ainda que o clima local seja caracterizado por um período seco e outro chuvoso (ANDRADE; CAVALCANTI, 2005; ASSAD, 1994), é menor do que os respectivos desvios calculados para os locais do Paraná, e bastante próximos à média de todos os locais (Figura 20). Tal característica do local, associada à sazonalidade definida da precipitação pluvial, são fatores que podem contribuir para a previsão de parâmetros climáticos (CHOU; BUSTAMANTE; GOMES, 2005). Porém, Campo Grande, em razão de sua localização geográfica próxima ao Pantanal, apresenta clima peculiar: se de um lado seu clima recebe contribuição da Zona de Convergência Intertropical, a qual define uma estação de reduzida precipitação pluvial no período de inverno e o aumento gradativo da precipitação pluvial conforme se avança para o verão em regime convectivo, por outro sofre a influência das massas oriundas de altas latitudes, as quais, ao atingirem o continente, podem ser desviadas em direção à depressão do Pantanal, provocando zonas de instabilidade (ANDRADE; CAVALCANTI, 2005; ASSAD, 1994).

Outra questão a ser considerada na previsão de parâmetros climáticos para Campo Grande é a influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), apresentada na Figura 19 e já discutida nesse trabalho.

As diferenças relativas entre os desvios em relação à média das previsões de precipitação pluvial com 30 (7,1 mm), 60 (5,9 mm), 90 (5,5 mm) e 120 (5,1 mm) dias de antecedência e os desvios em relação à média das precipitações pluviais medidas (10,0 mm) diariamente no período entre os dias 16 de Julho de 1997 e 15 de Junho de 2002 indicam a normalização (Figura 26) das previsões de precipitação pluvial; porém, diferentemente do observado no Paraná, há subestimativa da precipitação pluvial média no período considerado (Figura 23), da ordem de -4,3% para as previsões com 30 dias de antecedência, -15,0% para as previsões com 60 dias de antecedência, -16,4% para as previsões com 90 dias de antecedência e -25,0% para as previsões com 120 dias de antecedência.

Com relação às diferenças relativas entre os desvios com relação à média das previsões de temperatura máxima com 30 (4,2ºC mm), 60 (4,2ºC mm), 90 (4,4ºC mm) e 120 (4,1ºC mm) e das temperaturas mínimas com 30 (3,8ºC mm), 60 (3,6ºC mm), 90 (3,6ºC mm) e 120 (3,8ºC mm) dias realizadas pelo modelo Eta e respectivos desvios medidos de temperatura máxima e mínima,

ambos iguais a 3,6ºC no período entre os dias 16 de Julho de 1997 a 15 de Junho de 2002, os resultados também indicam o aumento da amplitude diária (Figura 27 e Figura 28) e superestimativa das previsões no período considerado (Figura 24 e Figura 25), notadamente das temperaturas máximas. Esses resultados são semelhantes aos já discutidos para os locais do Paraná, embora com menor intensidade, pois, das diferenças relativas entre as médias das temperaturas máximas e mínimas previstas para todos os períodos e as respectivas medianas, apenas a mediana das temperaturas mínimas previstas com 120 dias de antecedência foi considerada superestimada em relação à mediana das temperaturas mínimas medidas (Figura 25).

Quando considerada a aplicação das previsões de precipitação pluvial e temperatura, realizadas pelo modelo Eta para Campo Grande em modelos de cultura para a estimativa do rendimento de grãos de milho, se por um lado a menor precipitação pluvial e a maior amplitude das temperaturas podem reduzir as estimativas de rendimento de grãos, por outro a menor amplitude da precipitação pluvial - o que implica uma possível melhor distribuição temporal - pode contribuir para a superestimativa do rendimento de grãos de milho, dependendo das distribuições diárias e da sazonalidade das diferenças relativas.

As médias e as medianas das diferenças relativas diárias (Média 0) e das diferenças relativas entre as médias móveis com intervalo de cinco dias (Média 5) entre as previsões de precipitação pluvial com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência e as respectivas precipitações pluviais medidas, apresentadas nas Tabela 15 a Tabela 18, confirmam que a previsão de precipitação pluvial, já aos 60 dias de antecedência, é pouco subestimada quando observadas as diferenças relativas diárias. É interessante destacar que, apesar do valor considerado não significativo, a mediana das diferenças relativas, apresentada na Tabela 16, é menor que a unidade, indicando maior concentração de subestimativas nas previsões com 60 dias de antecedência. Também deve-se atentar para o fato de que o valor da média das diferenças relativas diárias (Média 0) entre as previsões realizadas com 120 dias de antecedência e as respectivas medidas (Tabela 18), da ordem de 0,75, é considerado subestimado, enquanto que o respectivo valor entre as médias móveis (Média 5), da ordem de 0,83, apesar de tido como pouco subestimado, confirma a tendência ao aumento da subestimativa da precipitação pluvial diretamente proporcional à antecedência da previsão.

As médias e medianas das diferenças relativas entre as temperaturas máximas diárias previstas com 30 dias de antecedência e as respectivas temperaturas medidas (Tabela 19) indicam

a subestimativa dessas previsões; porém, quando consideradas as previsões com 60, 90 e 120 dias (Tabela 20 a Tabela 22), embora em valores considerados não significativos, as previsões tendem a ser maiores que as medidas. Há que se considerar que as médias e medianas das diferenças relativas entre as médias móveis com cinco dias das temperaturas previstas com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência confirmam tais observações. Quando apreciadas as médias e medianas das diferenças relativas entre as temperaturas mínimas previstas e medidas diariamente, bem como as diferenças relativas das suas médias móveis com cinco dias, observa-se que as temperaturas mínimas medidas são menores que as respectivas previsões, sendo que todas as médias das diferenças diárias (Média 0) entre as temperaturas mínimas previstas com 120 dias de antecedência e as respectivas temperaturas mínimas medidas, bem como as diferenças relativas das suas médias móveis com cinco dias (Média 5), são consideradas pouco superestimadas.

Um aspecto a ser destacado com relação às previsões de temperatura em Campo Grande é que, enquanto a tendência à superestimativa das temperaturas mínimas tende a reduzir a amplitude diária das temperaturas, as máximas e mínimas diferenças relativas das temperaturas máxima e mínimas (Tabela 19 a Tabela 26) indicam o aumento da amplitude entre os dias, confirmando o aumento do desvio nas temperaturas previstas quando comparadas às temperaturas medidas.

A partir do exposto sobre as previsões de temperatura máxima e mínima pelo modelo Eta, é possível inferir a redução na amplitude diária das temperaturas, principalmente pelos maiores valores previstos de temperatura mínima. Neste caso, apesar do efeito positivo sobre a previsão do rendimento de grãos de milho por modelos de cultura que a redução da amplitude de temperatura representa, deve-se levar em conta que as temperaturas mínimas são bastante relacionadas a temperaturas noturnas (PEREIRA; MACHADO, 1987; GOUDRIAAN; LAAR, 1994); segundo Dourado Neto (2000) e Vieira Junior (1999), elas podem implicar maior respiração noturna, afetando negativamente a previsão do rendimento de grãos de milho.

Quanto à sazonalidade das diferenças relativas entre as previsões e as medidas de precipitação pluvial e temperatura em Campo Grande, observa-se comportamento semelhante dos resultados obtidos para os locais do Paraná. Nesse caso, as medianas das diferenças relativas entre as médias mensais das precipitações pluviais previstas e as médias mensais das precipitações pluviais medidas, indicam subestimativas da previsão da precipitação pluvial nos meses de Março (0,86) para as previsões realizadas com 30 dias de antecedência, Novembro (0,60) para as previsões realizadas com 60 dias de antecedência, Novembro (0,63) e Dezembro (0,53) para as

previsões realizadas com 90 dias de antecedência e Dezembro (0,90) para as previsões realizadas com 120 dias de antecedência. Essas concentrações sazonais das subestimativas das previsões de precipitação pluvial em Campo Grande coincidem com o período recomendado para o cultivo de milho na safra normal na região, que, segundo a Embrapa Milho e Sogro (2005a), compreende os meses de Outubro a maio. Portanto, é possível inferir alguma subestimativa do rendimento de grãos de milho previstos por modelos de cultura quando se utiliza a previsão de precipitação pluvial gerada pelo modelo Eta.

Para as medianas das diferenças relativas entre as médias mensais das temperaturas máximas previstas pelo modelo Eta e as médias mensais das temperaturas máximas medidas, observa-se concentração de previsões menores que as medidas entre os meses de Junho a Setembro, porém todas maiores que 0,95, e concentração de previsões maiores que as medidas, porém todas menores que 1,02, entre os meses de Outubro a Março em todos os períodos de antecedência da previsão. Os resultados indicam temperaturas mais elevadas durante o período recomendado de cultivo de milho nessa região; porém, como os valores são considerados não significativos, não devem comprometer o uso dessas previsões para a previsão do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura.

Já para as medianas das diferenças relativas entre as médias mensais das temperaturas mínimas previstas pelo modelo Eta e as respectivas médias mensais medidas, observam-se valores maiores que a unidade em todos os meses e todas as previsões; com exceção das previsões com 30 dias de antecedência nos meses de Maio (1,11) e Novembro (1,11) e com 90 dias de antecedência nos meses de Novembro (1,13) e Dezembro (1,11), todas as medianas das diferenças relativas entre as médias mensais das temperaturas mínimas previstas e as respectivas médias medidas foram consideradas não significativas.

Considerando a sazonalidade das previsões de precipitação pluvial e de temperatura geradas pelo modelo Eta e sua aplicação na previsão do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura, é possível inferir que o uso das previsões implique alguma redução da previsão do rendimento de grãos de milho, em razão da concentração dos valores previstos de precipitação pluvial menores e de temperaturas mínimas maiores que os medidos. Porém, de modo geral, espera-se que as previsões de parâmetros climáticos geradas pelo modelo Eta sejam adequadas à Previsão de Safras.

4.2.3 São Paulo

O estado de São Paulo apresenta uma diversidade de climas, que podem ser considerados de transição entre o temperado e tropical, predominando o primeiro nas regiões ao sul do estado, nesse estudo representada por Manduri , o segundo ao norte do estado, a exemplo de Guaíra e Cravinhos. Em latitudes maiores que Limeira e Piracicaba, o clima, semelhante ao do Paraná, sofre interferência pronunciada do deslocamento das frentes oriundas de altas latitudes, enquanto que, em latitudes menores, há maior atividade convectiva. Portanto, Piracicaba e Limeira representam uma região de transição, conforme se pode inferir das observações de Nimer (1989) e Nobre e Shukla (1996), destacadas no tópico 4.1.3.

Essas observações sobre a instabilidade climática em São Paulo são coerentes com as medidas do desvio em relação à média da precipitação pluvial em Cravinhos (10,1 mm), Guaíra (11,9 mm), Limeira (9,8 mm), Manduri (10,5 mm) e Piracicaba (10,1 mm), que, com exceção de Limeira e Piracicaba, são superiores à média dos desvios nos 24 locais (Figura 20) considerados neste estudo (10,4 mm). Os desvios de temperatura máxima e mínima nesses locais (Figura 20) corroboram a influência das frentes oriundas de altas latitudes, notadamente em Manduri.

Quanto às previsões de precipitação pluvial e temperatura entre os dias 16 de Julho de 1997 e 15 de Junho de 2002 realizadas pelo modelo Eta para Cravinhos, Guaíra, Limeira, Manduri e Piracicaba, concordando com os resultados obtidos no Paraná e Mato Grosso do Sul, também observa-se redução, porém mais acentuada, dos desvios em relação à média de todas as previsões de precipitação pluvial (Figura 26), além de aumento do desvio em relação à média de todas as previsões de temperatura máxima (Figura 27) e temperatura mínima (Figura 28), notadamente em Manduri.

As médias e medianas das previsões de precipitação pluvial diferem parcialmente dos resultados obtidos no Paraná e Mato Grosso do Sul, pois a média no período das previsões de precipitação pluvial com 30 dias de antecedência foi maior que as respectivas médias medidas em Cravinhos (20,0%), Guaíra (10,1%), Limeira (19,9%) e Piracicaba (39,9%), ao passo que em Manduri foi menor (-40,0%). Já para as previsões de precipitação pluvial com 60, 90 e 120 dias de antecedência em Cravinhos, Guaíra, Limeira e Manduri, as médias previstas no período foram iguais ou menores que as medidas, notadamente em Manduri, cuja média foi 59,9% menor nas previsões com 90 e 120 dias. Já em Piracicaba, as médias das precipitações pluviais previstas, apesar de também decrescerem com o período de antecedência da previsão, foram todas maiores

que as medidas, variando entre +11,1% com 60 dias de antecedência à +1,01% com 120 dias de antecedência (Figura 23).

É interessante destacar que as diferenças entre as médias das precipitações pluviais previstas e as respectivas médias das medidas nesses locais não são devidas exclusivamente a valores extremos, o que contrariaria a observação de minimização dos desvios das previsões, uma vez que, observadas as diferenças relativas entre as medianas das precipitações pluviais previstas e as medianas das precipitações pluviais medidas (Figura 23), observa-se o comportamento que corrobora as médias calculadas.

Quando comparadas as médias das temperaturas máximas (Figura 24) previstas no período e as respectivas médias medidas, observa-se que o modelo Eta, com exceção das previsões de temperatura máxima com 90 e 120 dias de antecedência em Manduri, tendeu a prever valores iguais ou menores de temperatura máxima, notadamente em Guaíra, cuja previsão com 30 dias de antecedência foi 13,1% menor. Com relação às médias no período considerado das temperaturas mínimas previstas (Figura 25), todas foram iguais ou maiores à média da temperatura mínima medida, especialmente em Manduri, cujas médias das previsões com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência foram 21,0, 21,1, 19,3 e 18,1% maiores. As medianas relativas às médias de temperatura no período corroboram os comentários, em especial em Manduri, cujas medianas das temperaturas máximas previstas com 90 e 120 dias de antecedência foram maiores que as medidas em 2,1 e 4,0%, respectivamente, e onde as medianas das temperaturas mínimas foram superiores em cerca de 20,0% para as previsões.

Dado o exposto sobre as previsões de precipitação pluvial e temperatura em Cravinhos, Guaíra, Limeira, Manduri e Piracicaba, observa-se a diversidade no comportamento das previsões, especialmente quanto à precipitação pluvial em Piracicaba e a precipitação pluvial e temperatura em Manduri. Cabe ainda destacar que as diferenças relativas entre as temperaturas previstas e as medidas em Manduri, além de contribuírem para redução na amplitude térmica diária, contribuem para maiores variações de temperatura entre os dias.

Levadas em conta essas previsões de precipitação pluvial e temperatura para a estimativa do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura nos locais considerados em São Paulo, é possível inferir que as acentuadas minimizações dos desvios em relação à média das precipitações pluviais previstas (Figura 26), quando comparados aos respectivos desvios medidos, impliquem melhor distribuição da precipitação pluvial e superestimativa no rendimento de grãos. A hipótese

da superestimativa pode ser reforçada em Cravinhos, Guaíra, Limeira e Piracicaba quando se observa que as precipitações pluviais previstas são maiores, iguais, no máximo, ligeiramente menores que as medidas; porém, não em Manduri, pela subestimativa (Figura 23) das precipitações, a qual chega a ser maior que 50%.

No caso das temperaturas, nota-se que temperaturas mínimas pouco superestimadas, especialmente em Manduri, podem contribuir para a redução na estimativa do rendimento de grão de milho, em razão do seu possível efeito sobre a respiração noturna das plantas, conforme as observações de Dourado Neto (2000) e Vieira Junior (1999) já destacadas nos tópicos 1.2.1 e 1.2.2. Assim, é possível inferir que o uso das previsões de precipitação pluvial e de temperatura, realizadas pelo modelo Eta, podem ser adequadas para a previsão do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura em Cravinhos, Guaíra, Limeira e Piracicaba, com alguma possibilidade de superestimativa, notadamente, em Piracicaba. Porém, em Manduri, provavelmente o uso das previsões será comprometido, em razão dos erros nas previsões dos parâmetros climáticos.

Depois de analisada a distribuição das diferenças relativas entre as precipitações pluviais previstas e suas respectivas medidas diárias, observa-se que, para todos os locais, as médias diárias (Média 0) das diferenças relativas (Tabela 15), em algum período de previsão, apresentam diferenças significativas, indicando, portanto, a reduzida acurácia do modelo Eta em prever a precipitação pluvial nesses locais.

Em Cravinhos, a média diária (Média 0) das diferenças relativas entre as previsões de precipitação pluvial com 30 (1,20) dias de antecedência e suas respectivas medidas são significativas; assim, apesar de reduzirem nas previsões com 60 (1,02), 90 (0,99) e 120 (0,94) dias de antecedência, podem comprometem as previsões (Tabela 15). Entretanto, as médias das diferenças relativas entre as médias móveis (Média 5) de todas as previsões e suas respectivas médias móveis medidas são próximas da unidade, indicando que as diferenças entre as previsões e as medidas de precipitação pluvial ocorrem em período inferior a cinco dias (Tabela 15 a Tabela 18), viabilizando, desta forma, o uso das previsões de precipitação pluvial em modelo de culturas, o que é corroborado pelas medianas das diferenças relativas apresentadas nas Tabela 15 a Tabela 18. Porém, há que se considerar que as medianas das diferenças relativas entre as médias mensais das precipitações pluviais previstas e as respectivas médias mensais medidas são maiores que a unidade nos meses de Outubro (1,20) e Novembro (1,15) para as previsões realizadas com 30 dias

de antecedência, menores que a unidade nos meses de Novembro (0,69) e Dezembro (0,59) para as previsões realizadas com 60 dias de antecedência, menores que a unidade nos meses Novembro (0,73) e Dezembro (0,74) para as previsões realizadas com 90 dias de antecedência e maiores que a unidade no mês de Novembro (1,10) e menor que a unidade no mês de Dezembro (0,93) para as previsões realizadas com 120 dias de antecedência.

Observa-se que as diferenças relativas entre as precipitações pluviais previstas e as medidas tendem a se concentrar no período indicado para o cultivo de milho safra normal na região, entre os meses de Outubro a maio, segundo a Embrapa Milho e Sorgo (2005b), o que pode comprometer a estimativa do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura utilizando-se as previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta. Todavia, em razão das divergências entre as previsões com 30 dias de antecedência e as demais, não é possível qualquer inferência sobre o efeito dessas previsões nas previsões do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura.

Guaíra apresenta comportamento das previsões de precipitação pluvial análogo a Cravinhos, pois a média diária (Média 0) e das médias móveis (Média 5) das diferenças relativas entre previsões com 120 dias de antecedência e as respectivas medidas é que são pouco subestimadas, enquanto todas as medianas (Mediana o e Mediana 5) são iguais à unidade (Tabela 15 a Tabela 18). Assim, também é possível utilizar as previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta para a estimativa do rendimento de grãos de milho por modelos de cultura em Guaíra. Porém, é preciso considerar a tendência de que as previsões de precipitação pluvial sejam significativamente inferiores às respectivas medidas no mês de Março (Mediana das diferenças relativas igual a 0,69), para as previsões realizadas com 30 dias de antecedência, e nos meses de Dezembro (Mediana das diferenças relativas igual a 0,79) e Janeiro (Mediana das diferenças relativas igual a 0,74), para as previsões realizadas com 120 dias de antecedência. Assim, é possível que o uso das previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta para a previsão do rendimento de grãos de milho por modelos de cultura possa ser subestimado.

Em Limeira, as médias das diferenças relativas diárias entre as precipitações pluviais previstas e medidas (Média 0) são pouco superestimadas para as previsões com 30 dias de antecedência (1,24), decrescendo e passando a não significativas nas previsões com 60 (0,98) e 90 (0,93) dias de antecedência; porém, tornam-se pouco subestimadas nas previsões com 120 (0,84) dias de antecedência (Tabela 15 a Tabela 18). Quando observadas as médias das diferenças

relativas entre as médias móveis com intervalo de cinco dias (Média 5) das precipitações pluviais previstas e das respectivas medidas em Limeira, observa-se valor significativo nas previsões com 30 dias (1,11) de antecedência (Tabela 15 a Tabela 18). Portanto, embora todas as medianas das diferenças relativas entre as precipitações pluviais previstas e as precipitações pluviais medidas sejam iguais à unidade, o uso das previsões de precipitação pluvial realizadas pelo modelo Eta para a previsão do rendimento de grãos de milho em Limeira pode ficar prejudicada.

A princípio, pode-se inferir a superestimativa do rendimento de grãos de milho em Limeira; entretanto, deve se considerar que as maiores precipitações pluviais são previstas apenas com 30 dias de antecedência, havendo tendência de redução nas previsões seguintes, o que pode resultar em subestimativa do rendimento de grãos de milho pelo modelo de cultura. A análise das medianas das diferenças relativas entre as médias mensais previstas e as respectivas médias mensais medidas corroboram essa hipótese, pois as médias mensais das previsões com 30 dias de antecedência tendem a ser maiores que as medidas no mês de Dezembro (1,20) e menores que as medidas no mês de Março (0,89); as médias mensais das previsões com 60 dias de antecedência não diferem significativamente, as médias mensais das previsões com 90 dias de antecedência tendem a ser menores que as medidas nos meses de Novembro (0,59) e Dezembro (0,57) e as médias mensais das previsões com 120 dias de antecedência tendem a ser menores que as medidas nos meses de Dezembro (0,73), Janeiro (0,54) e Fevereiro (0,48).

Dentre os 24 locais analisados, Manduri apresentou as piores previsões de precipitação pluvial, pois tanto as médias (Média 0) quanto as medianas (Medianas 0) das diferenças relativas entre as previsões e suas respectivas medidas de precipitação pluvial indicam que as previsões foram subestimadas em, no mínimo, 41,0%. Mesmo quando consideradas as médias (Média 5) e as medianas (Mediana 5) das diferenças relativas entre as médias móveis com intervalo de cinco dias das precipitações pluviais previstas e as respectivas médias móveis medidas, observa-se subestimativa da precipitação pluvial (Tabela 15 a Tabela 18). Assim, provavelmente, as previsões de rendimento de grãos de milho utilizando as previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta em modelo de cultura serão subestimadas, especialmente considerando-se que as menores precipitações pluviais previstas estão concentradas no mês de Fevereiro (Mediana das diferenças relativas igual a 0,49) para as previsões realizadas com 30 dias de antecedência, Dezembro (Mediana das diferenças relativas igual a 0,37) e Fevereiro (Mediana das diferenças relativas igual a 0,66) para as previsões realizadas com 60 dias de antecedência, Dezembro

(Mediana das diferenças relativas igual a 0,58) e Janeiro (Mediana das diferenças relativas igual a 0,43) para as previsões realizadas com 90 dias de antecedência e Dezembro (Mediana das diferenças relativas igual a 0,26) e Fevereiro (Mediana das diferenças relativas igual a 0,51) para as previsões realizadas com 120 dias de antecedência.

Em Piracicaba, embora todas as medianas sejam iguais à unidade, todas as médias são superiores à unidade (Tabela 15 a Tabela 18), sendo que as médias das diferenças relativas diárias (Média 0) e das diferenças relativas das médias móveis (Média 5) das previsões de precipitação pluvial com 30 dias de antecedência (Tabela 15) foram consideradas pouco superestimadas. É possível inferir que as previsões do rendimento de grãos de milho utilizando as previsões de precipitação pluvial gerada pelo modelo Eta serão superestimadas em Piracicaba, notadamente considerando-se que as maiores precipitações pluviais previstas estão concentradas nos meses de Janeiro (Mediana das diferenças relativas igual a 1,20) e Fevereiro (Mediana das diferenças relativas igual a 1,10) para as previsões realizadas com 30 dias de antecedência, Novembro (Mediana das diferenças relativas igual a 1,10), Janeiro (Mediana das diferenças relativas igual a 1,20) e Fevereiro (Mediana das diferenças relativas igual a 1,20) para as previsões realizadas com 60 dias de antecedência, Janeiro (Mediana das diferenças relativas igual a 1,10) e Fevereiro (Mediana das diferenças relativas igual a 1,20) para as previsões realizadas com 90 dias de antecedência, enquanto as menores precipitações pluviais estão concentradas nos meses de Janeiro (Mediana das diferenças relativas igual a 0,48) e Fevereiro (Mediana das diferenças relativas igual a 0,72) para as previsões realizadas com 120 dias de antecedência.

Quanto às temperaturas, observa-se pelas médias (Média 0) e medianas (Mediana 0) entre as diferenças relativas diárias, além das médias (Média 5) e medianas (Mediana 5) entre as diferenças relativas das médias móveis, que, em todos os locais considerados para São Paulo e todos os períodos de antecedência de previsão, as temperaturas máximas diárias não diferiram significativamente das respectivas temperaturas medidas (Tabela 19 a Tabela 22), apesar das médias no período diferem. Já as médias e medianas das diferenças diárias entre as temperaturas mínimas previstas e as respectivas temperaturas estimadas, com exceção de Cravinhos, indicam que, nos demais locais e períodos de antecedência da previsão, as temperaturas mínimas previstas foram maiores, notadamente em Manduri e Piracicaba, onde as médias e as das diferenças relativas entre as médias móveis (Média 5) diferiram significativamente e as medianas foram consideradas pouco superestimadas (Tabela 23 a Tabela 26).

Considerando as observações sobre as previsões de temperatura nos locais considerados para São Paulo, com exceção de Cravinhos, é possível inferir que nos demais locais as maiores temperaturas mínimas previstas contribuem para a subestimativa do rendimento de grãos de milho quando utilizadas as previsões de temperatura em modelo de cultura, o que corrobora as observações iniciais sobre as diferenças relativas entre as temperaturas médias previstas e as respectivas médias medidas no período. É interessante observar que as diferenças relativas superiores às unidades significativas se concentraram nos meses de Maio a Setembro, portanto, em período distinto da época recomendada para o cultivo de milho na safra normal na região. A exceção foi em Manduri, onde a concentração das temperaturas mínimas mais elevadas se estendeu até Dezembro, sendo que os meses de Outubro e Novembro apresentaram medianas das diferenças relativas entre as médias mensais previstas e as respectivas médias medidas da ordem de 1,20 para todos os períodos de antecedência da previsão.

Os resultados das temperaturas previstas indicam que, com exceção de Manduri, o uso das previsões desse parâmetro climático não deverá afetar significativamente a previsão do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura, notadamente no caso de Cravinhos, onde não foram observadas diferenças significativas entre as temperaturas previstas e as respectivas temperaturas medidas em nenhum mês do ano. No caso de Manduri, é possível inferir erros significativos na previsão do rendimento de grãos de milho por modelos de cultura utilizando as previsões do modelo Eta, pois, segundo Pereira e Machado (1987) e Goudriaan e Laar (1994), os erros das menores previsões de precipitação pluvial tendem a ser maximizados pelos erros das maiores previsões de temperatura mínima, em função da maior demanda hídrica estimada e a possível estimação de períodos com *deficit* hídrico pelo modelo de cultura.

De modo geral, as previsões de precipitação pluvial gerada pelo modelo Eta para os locais considerados de São Paulo tendem a ser menores, porém melhor distribuídas temporalmente que as respectivas precipitações pluviais medidas. Já quanto à temperatura, as previsões geradas pelo modelo Eta tendem a aumentar as variações entre os dias, porém minimizando as variações durante os dias, em razão dos maiores valores previstos para as temperaturas mínimas. Entretanto, essas observações gerais são bastante dependentes do local, e podem, inclusive, ser divergentes, a exemplo das previsões de precipitação pluvial e de temperatura geradas para Manduri e Piracicaba.

4.2.4 Minas Gerais

Conforme já destacado para o estado de São Paulo nos tópicos 4.1.3 e 4.2.3, a região Sudeste do Brasil está numa faixa de transição entre climas de características tropicais, com duas estações definidas de precipitação pluvial, e climas de latitudes com características temperadas, com quatro estações definidas pela temperatura. Minas Gerais apresenta considerável diversidade climática. Sua região Sul tem características temperadas, a região Norte tem características de semi-árido e as demais regiões têm características convectivas (CATALUNHA, 2002; MELO FILHO, 2003); portanto, a previsão numérica de parâmetros climáticos em Minas Gerais deve ser dificultada nos locais mais ao sul, no caso representados por Lavras e Viçosa.

Quando considerados os desvios em relação à medida das previsões diárias realizadas pelo modelo Eta entre os dias 16 de Julho de 1997 a 15 de Junho de 2002, verifica-se a manutenção da tendência à normalização das precipitações pluviais (Figura 20 e Figura 26), conforme as verificadas no Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo. Porém, quanto aos desvios em relação à média das temperaturas, observa-se ambigüidade de tendências, pois enquanto os desvios das previsões das temperaturas máximas aumentam diretamente com o período de antecedência em Capinópolis, Lavras, Paracatu, Patos de Minas, Sete Lagoas, Uberlândia e Viçosa, em Janaúba a tendência é de redução (Figura 20 e Figura 27). Essa ambigüidade de tendências, as quais contrariam as inclinações verificadas para as previsões de temperatura no Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo, fica mais bem caracterizada quando consideradas as temperaturas mínimas, pois apenas, Lavras e Viçosa apresentam redução consistente dos desvios em relação à média.

Os resultados dos desvios em relação à média das previsões de precipitação pluvial e temperatura pelo modelo Eta em Minas Gerais concordam com as características de climas temperados e convectivos, sugerindo que as previsões do modelo Eta são mais adequadas a regiões com clima caracterizado por regime convectivo.

A diversidade das previsões geradas pelo modelo Eta para Minas Gerais em relação às previsões geradas para Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo fica evidenciada também pelo aumento consistente das médias das precipitações pluviais previstas em Lavras e Viçosa, enquanto nos demais locais o comportamento é semelhante ao verificado na maioria dos locais analisados em São Paulo, onde apenas as previsões de precipitação pluvial com 30 dias de antecedência apresentaram médias maiores que as respectivas médias das precipitações medidas.

Em Capinópolis, as médias no período das previsões de precipitação pluvial com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência são maiores que as médias das medidas; porém, as diferenças relativas não são significativas. Já em Paracatu, Patos de Minas e Sete Lagoas, as médias das precipitações pluviais são pouco superestimadas nas previsões com 30 dias de antecedência, sendo iguais ou inferiores, porém não significativas, nos demais períodos de previsão. Em Janaúba, a média é superestimada nas previsões com 30 dias de antecedência, passando a pouco subestimadas nas previsões com 60 e 90 dias de antecedência e subestimadas nas previsões com 120 dias de antecedência. Em Uberlândia, as diferenças relativas entre as médias das precipitações pluviais previstas e as respectivas médias medidas não são significativas para previsões com 30 dias de antecedência, passando a pouco subestimadas nas previsões com 60 dias de antecedência e subestimadas nas previsões com 120 dias de antecedência (Figura 23).

Já a análise das diferenças relativas entre as os desvios, as médias e medianas das temperaturas previstas pelo modelo Eta e suas respectivas medidas para os locais considerados em Minas Gerais, além de não ter efeito tão marcante na redução do desvio em relação à média como os verificados no Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo, indicam maior acurácia, pois, com exceção das previsões de temperatura máxima com 30 dias de antecedência em Janaúba, Lavras, Paracatu, Sete Lagoas e Uberlândia e das previsões pouco subestimadas com 60 dias de antecedência em Lavras e Uberlândia. As demais não apresentaram diferenças significativas das diferenças relativas entre suas médias e medianas previstas e as respectivas medidas (Figura 27 e Figura 28).

Da análise das diferenças relativas entre os desvios, as médias e as medianas de precipitação pluvial e de temperatura previstas e as suas respectivas medidas nos locais considerados em Minas Gerais, pode-se inferir que a aplicação das previsões do modelo Eta para a previsão do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura podem ficar superestimadas em todos os locais, em razão do menor desvio em relação à média das precipitações pluviais diárias, o que pode contribuir para a redução nos períodos de *deficit* hídrico estimados. Em Capinópolis, Paracatu, Patos e Sete Lagoas, não se esperam efeitos mais significativos das previsões sobre as estimativas do rendimento de grãos, pois apenas as previsões de precipitação pluvial com 30 dias de antecedência foram pouco superestimadas. Em Lavras e Viçosa a superestimativa pode ser acentuada em razão das maiores previsões de precipitação pluvial e menores previsões de temperatura máxima, o que contribui para maior fotossíntese líquida, segundo Vieira Junior

(1999). Em Janaúba e Uberlândia, a despeito da superestimativa da precipitação pluvial em Janaúba e da pouca subestimativa da temperatura máxima prevista com 30 dias de antecedência em ambos locais, deve-se considerar que precipitações pluviais pouco subestimadas nos demais períodos podem implicar estimativa de *deficit* hídrico à cultura do milho por modelo de cultura, reduzindo a estimativa do rendimento de grãos.

Quando consideradas as médias (Média 0) e as medianas (Mediana 0) das diferenças relativas entre as previsões de precipitação pluvial e as respectivas medidas diárias, bem como as médias (Média 5) e Medianas (Mediana 5) das diferenças relativas entre as médias móveis com intervalos de cinco dias e as respectivas médias móveis medidas em Capinópolis (Tabela 15 a Tabela 18), observa-se que para todos os períodos de antecedência de previsão as precipitações pluviais previstas são maiores; contudo, como as diferenças não são significativas, o que é corroborado pela mediana e pela média das médias móveis, o uso das previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta para a previsão do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura não deve afetar o rendimento previsto. Essa hipótese é reiterada quando se observa que as medianas superiores à unidade das diferenças relativas entre as médias mensais previstas e as respectivas médias medidas, embora se concentrem nos meses de Dezembro e Janeiro para todos os períodos de antecedência da previsão, ou seja, dentro do período recomendado pela Embrapa Milho e Sorgo (2005b) para o cultivo de milho safra normal nesse local, são menores que 1,07.

Em Janaúba, as médias das diferenças relativas diárias indicam a superestimativa da precipitação pluvial prevista com 30 dias de antecedência (Tabela 15); porém, já na previsão com 60 dias de antecedência (Tabela 16), a precipitação pluvial prevista é menor que a medida. Quando consideradas as médias das diferenças relativas entre as médias móveis previstas e as respectivas médias móveis medidas, pode-se inferir a subestimativa do rendimento de grãos de milho por modelos de cultura utilizando-se as previsões do modelo Eta, pois as médias móveis das previsões com 60 a 120 dias de antecedência são inferiores às médias móveis das precipitações pluviais medidas, indicando que as diferenças entre as previsões e medidas de precipitação pluvial não são resultado de valores extremos, o que é corroborado pela mediana dessas diferenças relativas (Mediana 0 e Mediana 5) nas previsões com 120 dias de antecedência, apresentada na Tabela 18.

Ainda com relação a Janaúba, há que se considerar que as previsões de precipitação pluvial menores que as respectivas medidas se concentram no mês de Janeiro (Mediana das

diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,80) para as previsões realizadas com 60 dias de antecedência, no mês de Dezembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,23) para as previsões realizadas com 90 dias de antecedência e nos meses de Dezembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,63) e Janeiro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,84) para as previsões realizadas com 120 dias de antecedência; portanto, no período recomendado para o cultivo da safra normal de milho nesse local (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2005b).

Em Lavras e Viçosa, as médias (Média 0) e as medianas (Mediana 0) das diferenças relativas entre as previsões de precipitação pluvial e as respectivas medidas diárias, bem como as médias (Média 5) e Medianas (Mediana 5) das diferenças relativas entre as médias móveis com intervalos de cinco dias e as respectivas médias móveis medidas (Tabela 15 a Tabela 18), indicam que as precipitações pluviais previstas podem ser superiores às medidas, implicando superestimativa do rendimento de grãos de milho pelo uso das previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta em modelos de cultura, notadamente no caso de Viçosa. Ainda no caso de Viçosa, é interessante considerar que as previsões de precipitação pluvial maiores se concentram entre os meses de Outubro a Janeiro, ou seja, dentro do período recomendado pela Embrapa Milho e Sorgo (2005b) para o cultivo de milho na safra normal nessa região, além de que as medianas das diferenças relativas entre médias mensais variam entre 0,11 a 0,22.

No caso de Lavras, como apenas a diferença entre as médias móveis das precipitações pluviais previstas com 90 dias de antecedência pode ser considerada significativa (pouco superestimada), pode-se inferir que o uso das previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta para a previsão do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura não deve superestimar significativamente o rendimento. Ainda, embora as previsões de precipitação pluvial maiores se concentram nos meses de Outubro a Fevereiro, portanto dentro do período recomendado pela Embrapa Milho e Sorgo (2005b) para o cultivo de milho na safra normal nessa região, as medianas das diferenças relativas entre médias mensais são todas menores que 0,10.

Em Paracatu, Patos de Minas e Sete Lagoas, as médias e as medianas das diferenças relativas entre as previsões de precipitação pluvial e as respectivas medidas diárias, bem como as médias e Medianas das diferenças relativas entre as médias móveis com intervalos de cinco dias e as respectivas médias móveis medidas (Tabela 15 a Tabela 18), indicam que, apesar das previsões com 30 dias de antecedência serem maiores que as medidas, as demais precipitações pluviais

previstas são inferiores às medidas. Entretanto, como as precipitações pluviais diárias previstas com 60 a 120 dias de antecedência não diferem significativamente das respectivas precipitações pluviais medidas, assim como as diferenças relativas entre as médias móveis em todos os períodos de antecedência de previsão também não diferem significativamente, pode-se deduzir que o uso das previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta para a previsão do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura não deve afetar o rendimento previsto.

Ainda com relação a Paracatu, Patos de Minas e Sete Lagoas, embora as diferenças relativas entre as previsões de precipitação pluvial e suas respectivas medidas se concentrem nos meses de Outubro a Março, portanto dentro do período recomendado pela Embrapa Milho e Sorgo (2005b) para o cultivo de milho na safra normal nessa região, as medianas das diferenças relativas entre médias mensais são todas menores que 0,10.

Em Uberlândia, as médias das diferenças relativas diárias indicam a pequena subestimativa da precipitação pluvial prevista em períodos entre 60 e 120 dias de antecedência (Tabela 16 a Tabela 18). Quando consideradas as médias das diferenças relativas entre as médias móveis previstas e as respectivas médias móveis medidas, pode-se inferir pela subestimativa do rendimento de grãos de milho por modelos de cultura utilizando-se as previsões do modelo Eta, pois as médias móveis das previsões 120 dias de antecedência são significativamente inferiores às médias móveis das precipitações pluviais medidas (Tabela 18), indicando que as diferenças entre as previsões e medidas de precipitação pluvial não são resultado de valores extremos, o que é corroborado pela mediana dessas diferenças relativas (Mediana 0 e Mediana 5) nas previsões com 90 e 120 dias de antecedência (Tabela 17 e Tabela 18).

Ainda com relação a Uberlândia, as previsões de precipitação pluvial menores que as respectivas medidas se concentram no mês de Março (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0, 55) para as previsões realizadas com 30 dias de antecedência, no mês de Novembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,62) para as previsões realizadas com 90 dias de antecedência, nos meses de Novembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,43) e Dezembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,54) para as previsões realizadas com 60 dias de antecedência e nos meses de Novembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,27), Dezembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,61) e Janeiro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,52) para as previsões realizadas

com 120 dias de antecedência, portanto no período recomendado pela Embrapa Milho e Sorgo (2005b) para o cultivo da safra normal de milho nesse local.

Consideradas as diferenças relativas entre as temperaturas previstas e as medidas em Capinópolis, pode-se inferir que as previsões das temperaturas máximas e mínimas pelo modelo Eta são coerentes com as respectivas temperaturas medidas, portanto não implicando erro na previsão do rendimento de grãos de milho pelo modelo de cultura. Já as médias (Média 0) e as medianas (Mediana 0) das diferenças relativas entre as temperaturas previstas e as respectivas temperaturas medidas diariamente, para todos os períodos de antecedência da previsão, foram menores que cinco porcento. Essa afirmação é corroborada quando considerados os valores não significativos das médias (Média 5) e das medianas (Mediana 5) das diferenças relativas entre as médias móveis com intervalo de cinco dias das temperaturas máximas e mínimas previstas e as respectivas médias móveis medidas (Tabela 19 a Tabela 26).

Cabe ainda observar que as diferenças entre as médias mensais para todas as previsões de temperatura e suas respectivas medidas em Capinópolis são distribuídas durante todos os meses do ano, implicando ausência de concentração; portanto, não há influência da sazonalidade das diferenças na previsão do rendimento de grãos de milho pelo modelo de cultura quando utilizadas as previsões de temperaturas geradas pelo modelo Eta nesse local.

Em Janaúba, as temperaturas máximas previstas são menores do que as respectivas medidas; porém, apenas as previstas com 30 e 60 dias de antecedência podem ser consideradas pouco subestimadas (Tabela 19 a Tabela 22). Uma vez que a média anual da temperatura máxima medidas em Janaúba é superior a 30ºC (Figura 21), que as maiores temperaturas ocorrem entre os meses de Outubro a Fevereiro, período recomendado pela Embrapa Milho e Sorgo (2005b) para o cultivo da safra normal de milho, e que as temperaturas superiores a 30ºC afetam negativamente o rendimento de grãos de milho (DUARTE; PATERNIANI, 2000, FANCELLI; DOURADO NETO, 2000, MAGALHÃES; PAIVA, 1993), é possível inferir que o uso das previsões de temperatura máxima geradas pelo modelo Eta contribuam para superestimar o rendimento de grãos de milho gerado pelo modelo de cultura. Quando considerada a distribuição mensal das diferenças entre as médias mensais das previsões de temperatura e as respectivas médias mensais medidas, observa-se que não há concentração das diferenças são distribuídas em qualquer mês.

Em Lavras, Paracatu, Sete Lagoas, Patos de Minas Uberlândia e Viçosa, as médias (Média 0) e as medianas (Mediana 0) das diferenças relativas entre as temperaturas máximas previstas e

as respectivas temperaturas medidas diariamente, para todos os períodos de antecedência da previsão, foram iguais ou menores que a unidade, porém consideradas não significativas; portanto, não devem afetar a estimativa do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura quando utilizadas essas previsões. Essa afirmação é corroborada quando consideradas as médias (Média 5) e as medianas (Mediana 5) das diferenças relativas entre as médias móveis com intervalo de cinco dias das temperaturas máximas previstas e as respectivas médias móveis medidas (Tabela 19 a Tabela 26). Já com relação às temperaturas mínimas previstas, em Paracatu as diferenças relativas foram iguais ou inferiores à unidade, e nos demais locais iguais ou superiores para todos os períodos de antecedência da previsão; porém, apenas em Viçosa as diferenças relativas são consideradas significativas, pouco superestimadas, implicando que apenas nesse local o uso das previsões de temperatura mínima pode afetar o rendimento estimado de grãos de milho por modelo de cultura.

Cabe observar que as diferenças entre as médias mensais para todas as previsões de temperatura e suas respectivas medidas em Lavras, Paracatu, Sete Lagoas, Patos de Minas Uberlândia e Viçosa, são distribuídas durante todos os meses do ano, implicando ausência de concentração; portanto, não há influência da sazonalidade das diferenças na estimativa do rendimento de grãos de milho pelo modelo de cultura quando utilizadas as previsões de temperaturas geradas pelo modelo Eta nesses locais.

De modo geral, as previsões de precipitação pluvial gerada pelo modelo Eta para os locais considerados em Minas Gerais tendem a ser mais bem distribuídas temporalmente que as respectivas precipitações pluviais medidas. As precipitações pluviais previstas tendem a ser maior que as respectivas medidas nos locais mais ao sul e com climas com características mais temperadas. Já nos demais locais os resultados não permitem definir uma tendência geral, à exceção de Janaúba, onde as previsões tendem a subestimar a precipitação pluvial. Quanto à temperatura, as previsões geradas pelo modelo Eta tendem a aumentar as variações entre os dias, porém a minimizar as variações durante os dias, em razão dos maiores valores previstos para as temperaturas mínimas. Entretanto, como São Paulo, essas observações gerais também são bastante dependentes do local.

4.2.5 Goiás

O clima do estado de Goiás caracteriza-se pelos períodos distintos de precipitação pluvial em razão da variação na atividade convectiva, segundo o deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (AYOADE, 1996). Assim, uma vez que essa região é marcada por inverno seco e verão chuvoso, é possível inferir a maior acurácia das previsões numéricas. Entretanto, são necessários estudos da distribuição sazonal e diária da precipitação pluvial baseados nas medianas, pois o uso de médias não constitui um bom indicador do regime pluviométrico. Essas observações sobre Goiás, o que pode contribuir para dificultar a previsão de parâmetros climáticos pelo modelo Eta, são coerentes com os desvios das medidas de precipitação pluvial em relação à média de Porangatu (11,5 mm) e Rio Verde (11,4 mm), menores apenas que os verificados em Cascavel, Paraná (Figura 20). Já os desvios de temperatura máxima e mínima nesses locais (Figura 20) inferiores à média dos 24 locais, corroboram a pequena influência de Frentes oriundas de altas latitudes e a maior influência da Zona de Convergência Intertropical na região.

Quando consideradas as previsões de precipitação pluvial realizadas pelo modelo Eta entre os dias 16 de Julho de 1997 e 15 de Junho de 2002 em Brasília, Goianésia, Goiânia, Itumbiara, Porangatu e Rio Verde, verifica-se normalização das precipitações pluviais diretamente proporcional ao período de antecedência da previsão (Figura 20 e Figura 26). Ainda quanto às previsões de precipitação pluvial nesses locais goianos, à exceção da previsão com 30 dias de antecedência em Goianésia, verifica-se que as médias das precipitações pluviais previstas tendem a ser menor que as respectivas precipitações medidas; porém, exceto para Porangatu, essas diferenças não foram consideradas significativas. Cabe ressaltar que, apesar das diferenças relativas não significativas entre as médias de precipitação pluvial previstas e medidas no período, as respectivas medianas para Goianésia, Goiânia, Itumbiara e, principalmente Rio Verde, indicam a maior precipitação pluvial nesses locais, o que aponta que as médias não significativas podem ser resultado de previsões extremas (Figura 21 a Figura 23).

Quando consideradas as previsões de temperatura realizadas pelo modelo Eta entre os dias 16 de Julho de 1997 e 15 de Junho de 2002 nos locais examinados Goiás, à exceção de Goianésia, verifica-se tendência de aumento das amplitudes entre os dias, fato expresso pelas diferenças relativas entre os desvios em relação à média das previsões e os desvios em relação à média das medidas das temperaturas máxima e mínimas (Figura 20, Figura 27 e Figura 28); entretanto, a não ser no caso das previsões com 30, 60 e 90 dias de antecedência para Porangatu e das previsões

com 30 e 60 dias para Brasília, as diferenças relativas entre os desvios das previsões e os desvios das medidas de temperatura não foram consideradas significativas. Ainda quanto às previsões de temperatura, em Goiás também se observa tendência de redução das temperaturas máximas previstas e aumento das temperaturas mínimas previstas; à exceção das previsões de temperatura máxima para Porangatu e da previsão de temperatura mínima com 120 dias de antecedência em Rio Verde, as demais não foram consideradas significativas (Figura 21, Figura 22, Figura 24 e Figura 25).

Os resultados dos desvios em relação à média das médias e das medianas das previsões de precipitação pluvial e temperatura geradas pelo modelo Eta são mais coerentes entre os locais considerados para Goiás do que entre os locais considerados para São Paulo e Minas Gerais. Assim, os resultados sugerem que as previsões do modelo Eta são mais adequadas para regiões com clima caracterizado por regime convectivo.

A partir das previsões de precipitação pluvial e temperatura para a previsão do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura nos locais considerados em Goiás, é possível inferir que as acentuadas minimizações dos desvios em relação à média das precipitações pluviais previstas (Figura 26), quando comparadas aos respectivos desvios medidos, implicam melhor distribuição da precipitação pluvial e superestimativa no rendimento de grãos. A hipótese da superestimativa pode ser reiterada em Goianésia, Goiânia, Itumbiara e Rio Verde, desde que observados os resultados das médias e medianas das diferenças relativas; porém, a conjectura pode ser comprometida em Porangatu, onde as médias das precipitações pluviais previstas são até 32% menores que as respectivas medidas das precipitações.

No caso das temperaturas, à exceção das previsões com 90 e 120 dias de antecedência em Brasília e Rio Verde, observa-se que as temperaturas máximas previstas foram menores que as medidas, notadamente em Porangatu; assim, podem contribuir para aumento na estimativa do rendimento de grão de milho em razão do seu possível efeito sobre a respiração das plantas, conforme as observações de Dourado Neto (2000) e Vieira Junior (1999), já destacadas nos tópicos 1.2.1 e 1.2.2. Porém, essa superestimativa do rendimento de grãos por modelo de cultura utilizando as previsões de temperatura geradas pelo modelo Eta podem ser comprometidas pelas temperaturas mínimas previstas maiores que as medidas.

Analisada a distribuição das diferenças relativas entre as precipitações pluviais previstas e suas respectivas medidas diárias, observa-se que, com exceção de Brasília, Goianésia e Porangatu,

as médias diárias (Média 0) das diferenças relativas (Tabela 15), não apresentam diferenças significativas, indicando, portanto, a acurácia do modelo Eta na previsão da precipitação pluvial nesses locais.

Em Brasília e Goianésia, as médias das diferenças relativas entre as previsões e as respectivas medidas diárias (Média 0) indicam a superestimativa da precipitação pluvial prevista com 30 dias de antecedência (Tabela 15); porém, já na previsão com 60 dias de antecedência (Tabela 16) a precipitação pluvial prevista é significativamente menor que a medida, levando-se em conta a média das diferenças relativas diárias (Média 0). Quando examinadas as médias das diferenças relativas entre as médias móveis previstas e as respectivas médias móveis medidas (Média 5), pode-se inferir a subestimativa do rendimento de grãos de milho por modelos de cultura utilizando-se as previsões do modelo Eta em Brasília e Goianésia, uma vez que as médias móveis das previsões com 60 a 120 dias de antecedência são inferiores às médias móveis das precipitações pluviais medidas, indicando que as diferenças entre as previsões e medidas de precipitação pluvial não são resultado de valores extremos, o que é corroborado pela mediana dessas diferenças relativas (Mediana 0 e Mediana 5) nas previsões com 120 dias de antecedência apresentadas na Tabela 18.

Ainda com relação a Brasília, há que se considerar que as previsões de precipitação pluvial menores que as respectivas medidas se concentraram no mês de Novembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,36) para as previsões realizadas com 60 dias de antecedência, nos meses de Novembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,49) e Dezembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,51) para as previsões realizadas com 90 dias de antecedência e no mês de Novembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,34) para as previsões realizadas com 120 dias de antecedência, portanto, no período recomendado pela Embrapa Milho e Sorgo (2005b) para o cultivo da safra normal de milho nesse local. Já em Goianésia, as previsões de precipitação pluvial menores que as respectivas medidas se concentraram no mês de Novembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,34) para as previsões realizadas com 60 dias de antecedência, no mês de Janeiro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,81) para as previsões realizadas com 90 dias de antecedência e nos meses de Fevereiro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,86), Novembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,57) e Dezembro (Mediana das diferenças

relativas entre médias mensais igual a 0,64) para as previsões realizadas com 120 dias de antecedência, portanto, também no período recomendado pela Embrapa Milho e Sorgo (2005b) para o cultivo da safra normal de milho nesse local.

Quando consideradas as médias (Média 0) e as medianas (Mediana 0) das diferenças relativas entre as previsões de precipitação pluvial e as respectivas medidas diárias, bem como as médias (Média 5) e Medianas (Mediana 5) das diferenças relativas entre as médias móveis com intervalos de cinco dias e as respectivas médias móveis medidas em Goiânia e Rio Verde (Tabela 15 a Tabela 18), é possível inferir a acurácia das previsões de precipitação pluvial do modelo Eta, pois as médias das diferenças relativas diárias são inferiores a 5% para Goiânia e inferiores a 7% para Rio Verde. Examinado-se as médias das diferenças relativas entre as médias móveis, observa-se que são inferiores a 1% para as previsões em Goiânia e inferior a 5% para as previsões em Rio Verde; no mais, todas as medianas das diferenças relativas são iguais à unidade para esses locais. Assim, o uso das previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta para a previsão do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura não deve afetar o rendimento estimado em Goiânia e Rio Verde.

Contudo, em Goiânia, a hipótese pode ser prejudicada e as estimativas do rendimento de grãos podem ser superestimadas quando se observa que as medianas superiores à unidade das diferenças relativas entre as médias mensais previstas e as respectivas médias medidas se concentraram nos meses de Novembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 1,20), Dezembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 1,20) e Janeiro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 1,20) para as previsões realizadas com 30 dias de antecedência, no mês de Dezembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 1,08) para as previsões realizadas com 60 dias de antecedência, no mês de Janeiro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 1,20) para as previsões realizadas com 90 dias de antecedência e nos meses de Janeiro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 1,51) e Dezembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 1,20) para as previsões realizadas com 120 dias de antecedência, portanto, também no período recomendado pela Embrapa Milho e Sorgo (2005B) para o cultivo da safra normal de milho nesse local.

Em Rio Verde as concentrações também não ocorrem nos meses recomendados para o cultivo do milho em safra normal. Porém, as medianas superiores à unidade das diferenças

relativas entre as médias mensais previstas e as respectivas médias das medidas se concentraram nos meses de Outubro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 1,40), Novembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 1,20) e Janeiro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 1,20) para as previsões realizadas com 30 dias de antecedência, no mês de Dezembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 1,20) para as previsões realizadas com 60 dias de antecedência e no mês de Janeiro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 1,15) para as previsões realizadas com 120 dias de antecedência, enquanto para as previsões realizadas com 90 dias de antecedência todas as medianas mensais são iguais à unidade.

Quando consideradas as médias (Média 0) e as medianas (Mediana 0) das diferenças relativas entre as previsões de precipitação pluvial e as respectivas medidas diárias, bem como as médias (Média 5) e Medianas (Mediana 5) das diferenças relativas entre as médias móveis com intervalos de cinco dias e as respectivas médias móveis medidas em Itumbiara (Tabela 15 a Tabela 18), para todos os períodos de antecedência de previsão as precipitações pluviais previstas são iguais ou maiores; contudo, como as diferenças não são significativas, o que é corroborado pelas medianas e pela média das médias móveis, o uso das previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta para a estimativa do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura não deve afetar o rendimento estimado. A hipótese é reiterada quando se nota que as medianas superiores à unidade das diferenças relativas entre as médias mensais previstas e as respectivas médias medidas, embora se concentrem nos meses de Dezembro e Janeiro para todos os períodos de antecedência da previsão, ou seja, dentro do período recomendado pela Embrapa Milho e Sorgo (2005b) para o cultivo de milho na safra normal nesse local, são menores que 1,10.

Porangatu apresentou as piores previsões de precipitação pluvial em Goiás, pois tanto as médias (Média 0) quanto às medianas (Medianas 0) das diferenças relativas entre as previsões e suas respectivas medidas de precipitação pluvial indicam que as previsões de precipitação pluvial foram menores que as precipitações pluviais medidas. Mesmo tendo-se em mente as médias (Média 5) e as medianas (Mediana 5) das diferenças relativas entre as médias móveis com intervalo de cinco dias das precipitações pluviais previstas e as respectivas médias móveis medidas, observa-se tendência de subestimativa da precipitação pluvial (Tabela 15 a Tabela 18). Assim, provavelmente, as previsões de rendimento de grãos de milho utilizando as previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta em modelo de cultura serão subestimadas,

notadamente se considerar que as menores precipitações pluviais previstas estão concentradas no mês de Março (Mediana das diferenças relativas igual a 0,57) para as previsões realizadas com 30 dias de antecedência, Novembro (Mediana das diferenças relativas igual a 0,39) e Dezembro (Mediana das diferenças relativas igual a 0,57) para as previsões realizadas com 60 dias de antecedência, Dezembro (Mediana das diferenças relativas igual a 0,76) e Janeiro (Mediana das diferenças relativas igual a 0,43) para as previsões realizadas com 90 dias de antecedência e Novembro (Mediana das diferenças relativas igual a 0,28) e Dezembro (Mediana das diferenças relativas igual a 0,38) para as previsões realizadas com 120 dias de antecedência.

Dadas as diferenças relativas entre as temperaturas previstas e as medidas, em Brasília pode-se inferir que as previsões das temperaturas máximas e mínimas pelo modelo Eta são coerentes com as respectivas temperaturas medidas, portanto não implicando erro na estimativa do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura quando utilizadas essas previsões, pois as médias e as medianas das diferenças relativas entre as temperaturas previstas e as respectivas temperaturas medidas diariamente, para todos os períodos de antecedência da previsão, foram menores que 4%. Essa afirmação é corroborada quando considerados os valores não significativos das médias (Média 5) e das medianas (Mediana 5) das diferenças relativas entre as médias móveis com intervalo de cinco dias das temperaturas máximas e mínimas previstas e as respectivas médias móveis medidas (Tabela 19 a Tabela 26).

Embora todas as previsões de temperatura máxima em Goianésia, Goiânia e Itumbiara e Rio Verde sejam menores que as respectivas temperaturas medidas e de todas as previsões de temperatura mínima sejam maiores que as medidas, as médias e as medianas das diferenças relativas entre as previsões e as respectivas medidas diárias não foram significativas. Quando consideradas as médias e as medianas das diferenças relativas entre as médias móveis das previsões das temperaturas e as respectivas médias móveis medidas, observa-se que todas também não foram significativas (Tabela 19 a Tabela 26). Assim, pode-se inferir que as previsões das temperaturas máximas e mínimas pelo modelo Eta são coerentes com as respectivas temperaturas medidas, não implicando em erro na previsão do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura quando utilizadas essas previsões.

Cabe observar ainda que as diferenças entre as médias mensais para todas as previsões de temperatura e suas respectivas medidas em Brasília, Goianésia, Goiânia, Itumbiara e Rio Verde são distribuídas durante todos os meses do ano; desta forma, não deve haver influência da

sazonalidade das diferenças na estimativa do rendimento de grãos de milho pelo modelo de cultura quando utilizadas as previsões de temperaturas geradas pelo modelo Eta nesses locais.

Em Porangatu, as temperaturas máximas previstas são menores do que as respectivas medidas, podendo ser consideradas pouco subestimadas (Tabela 19 a Tabela 22). Uma vez que a média anual da temperatura máxima medida em Porangatu é superior a 30ºC (Figura 21), que as maiores temperaturas ocorrem entre os meses de Outubro e Fevereiro, período recomendado pela Embrapa Milho e Sorgo (2005b) para o cultivo da safra normal de milho, e que temperaturas superiores a 30ºC afetam negativamente o rendimento de grãos (DUARTE; PATERNIANI, 2000, MAGALHÃES; PAIVA, 1993 e VIEIRA JUNIOR, 1999), é possível inferir que o uso das previsões de temperatura máxima geradas pelo modelo Eta para Porangatu contribui para superestimar o rendimento de grãos de milho por modelo de cultura. Quando examinada a distribuição mensal das diferenças relativas entre as médias mensais das previsões de temperatura e as respectivas médias mensais medidas, observa-se concentração no mês de Janeiro, a qual, apesar das medianas das diferenças relativas de todas os períodos de antecedência das previsões serem inferior a 0,82, pode acentuar a superestimativa do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura.

De modo geral, as previsões de precipitação pluvial gerada pelo modelo Eta para os locais considerados em Goiás tendem a ser melhores distribuídas temporalmente que as respectivas precipitações pluviais medidas. Ainda, as precipitações pluviais previstas tendem a ser menores que as respectivas precipitações pluviais medidas, notadamente em Porangatu. A exceção foi para as previsões de precipitação pluvial em Itumbiara, onde, porém, as diferenças entre as precipitações pluviais previstas e as respectivas precipitações pluviais medidas são inferiores a 4%. Quanto à temperatura, as previsões geradas pelo modelo Eta tendem a aumentar as variações entre os dias, porém minimizando as variações durante os dias em razão dos maiores valores previstos para as temperaturas mínimas. Essas observações gerais também são dependentes do local; entretanto, diferentemente de São Paulo e Minas Gerais, apresentam comportamentos semelhantes, reiterando que o único comportamento discrepante, ainda que de pequena magnitude, ocorreu em Itumbiara, local mais ao sul de Goiás.

4.2.6 Bahia

Dos locais avaliados nesse estudo, Barreiras é o que se localiza mais ao nordeste do Brasil. Seu clima caracteriza-se pelos períodos distintos de precipitação pluvial em razão da variação na atividade convectiva decorrentes do deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (AYOADE, 1996). Assim, similarmente a Goiás, são necessários estudos da distribuição sazonal e diária da precipitação pluvial baseados nas medianas, pois o uso de médias não constitui um bom indicador do regime pluviométrico para esse local (ASSAD, 1994). Tais observações são reiteradas tendo-se em mente que, das 24 áreas estudadas, Barreiras é o que apresenta a menor média (2,7 mm) de precipitação pluvial, a maior média de temperatura máxima (32,9ºC) e a segunda maior média de temperatura mínima (19,4ºC) no período entre os dias 16de Julho de 1997 e 15 de Junho de 2002 (Figura 21). Já os desvios de temperatura máxima e mínima em Barreiras (Figura 20) não são os menores dos 24 locais, indicando que outros fatores, além da Zona de Convergência Intertropical, definem o clima local.

Quando consideradas as previsões de precipitação pluvial realizadas pelo modelo Eta entre os dias 16 de Julho de 1997 e 15 de Junho de 2002 em Barreiras, verifica-se a maior normalização das precipitações, diretamente proporcional ao período de antecedência da previsão, fato expresso pelas diferenças relativas entre os desvios em relação à média das previsões e os desvios em relação à média das medidas de precipitação pluvial (Figura 20 e (Figura 26). Ainda quanto às previsões de precipitação pluvial em Barreiras, à exceção da previsão com 30 dias de antecedência, foi considerada pouco subestimada, as demais foram subestimadas em até 50,0% (Figura 21 a Figura 23).

Examinadas as previsões de temperatura realizadas pelo modelo Eta entre os dias 16 de Julho de 1997 e 15 de Junho de 2002 para Barreiras, contrariando as previsões nos demais locais, verifica-se tendência de redução das amplitudes entre os dias, fato expresso pelas diferenças relativas entre os desvios em relação à média das previsões e os desvios em relação à média das medidas das temperaturas máxima e mínimas pouco subestimadas apresentadas na Figura 27 e na Figura 28. Ainda acerca das previsões de temperatura em Barreiras, concordando com os demais locais localizados em regiões de clima convectivo, observa-se tendência significativa de redução das temperaturas máximas previstas (Figura 24). Porém, agora contrariando o comportamento das previsões nos demais locais sob clima convectivo, a despeito das diferenças relativas não serem consideradas significativas, observou-se redução das temperaturas mínimas previstas (Figura 25).

Quando ponderadas essas previsões de precipitação pluvial e temperatura para a estimativa do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura em Barreiras, é possível inferir que as acentuadas minimizações dos desvios em relação à média das precipitações pluviais previstas (Figura 26), em comparação aos respectivos desvios medidos, impliquem melhor distribuição da precipitação pluvial e superestimativa no rendimento de grãos. Porém, a hipótese da superestimativa é comprometida porque as precipitações pluviais previstas chegam a ser 50% menores que as respectivas precipitações pluviais medidas (Figura 23).

No caso das temperaturas, observa-se que as temperaturas máximas previstas foram menores que as medidas; assim, podem contribuir para o aumento na estimativa do rendimento de grão de milho em razão do seu possível efeito sobre a respiração das plantas, conforme as observações de Dourado Neto (2000) e Vieira Junior (1999) já destacadas nos tópicos 1.2.1 e 1.2.2. A superestimativa do rendimento de grãos por modelo de cultura utilizando as previsões de temperatura geradas pelo modelo Eta podem ser reiteradas uma vez que as temperaturas mínimas previstas são menores que as medidas, implicando uma possível menor respiração noturna da plantas e maior rendimento de grãos, conforme já destacado nos tópicos 1.2.1 e 1.2.2.

Em Barreiras, as médias das diferenças relativas entre as previsões e as respectivas medidas diárias (Média 0) indicam a pouca subestimativa da precipitação pluvial na previsão para 30 dias de antecedência (Tabela 15), porém, já na previsão com 60 dias de antecedência (Tabela 16) a precipitação pluvial prevista é significativamente menor que a medida levando-se em conta a média das diferenças relativas diárias (Média 0). Quando consideradas as médias das diferenças relativas entre as médias móveis previstas e as respectivas médias móveis medidas (Média 5), pode-se deduzir a subestimativa do rendimento de grãos de milho por modelos de cultura utilizando-se as previsões do modelo Eta em Barreiras, pois as médias móveis das previsões com 60 a 120 dias de antecedência são inferiores às médias móveis das precipitações pluviais medidas, indicando que as diferenças entre as previsões e medidas de precipitação pluvial não são resultado de valores extremos, o que é corroborado pela mediana dessas diferenças relativas (Mediana 0 e Mediana 5) nas previsões com 60 a 120 dias de antecedência, apresentadas nas Tabela 16 a Tabela 18.

Há que se considerar que as previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta para Barreiras são as piores dos 24 locais analisados, pois em Manduri, que apresenta médias das

diferenças relativas próximas às de Barreiras, as medianas das diferenças relativas são maiores, indicando a melhor acurácia da previsão de precipitação pluvial ali, em comparação a Barreiras.

Ainda com relação à previsão de precipitação pluvial em Barreiras, deve-se inferir a pior acurácia do modelo Eta, tendo-se em mente que as previsões de precipitação pluvial menores que as respectivas medidas se concentraram no mês de Outubro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,86) para as previsões realizadas com 30 dias de antecedência, no mês de Novembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,90) para as previsões realizadas com 60 dias de antecedência, nos meses de Novembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,56) e Dezembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,16) para as previsões realizadas com 90 dias de antecedência, e nos meses de Novembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,82) e Dezembro (Mediana das diferenças relativas entre médias mensais igual a 0,64) para as previsões realizadas com 120 dias de antecedência, portanto, no período recomendado pela Embrapa Milho e Sorgo (2005b) para o cultivo da safra normal de milho nesse local.

Ponderadas as diferenças relativas entre as temperaturas previstas e as medidas, em Barreiras pode-se concluir que as previsões das temperaturas máximas pelo modelo Eta não são coerentes com as respectivas temperaturas medidas, pois em todos os períodos de antecedência as temperaturas máximas previstas são consideradas pouco subestimadas. Cabe destacar que as medianas das diferenças relativas entre as temperaturas máximas previstas e as respectivas temperaturas medidas diariamente apresentam valores entre 0,8 e 0,9. Corroborando que as temperaturas máximas previstas pelo modelo Eta para Barreiras são menores que as medidas, as médias e as medianas das diferenças relativas entre as médias móveis das temperaturas máxima previstas e as respectivas médias móveis medidas também apresentam valores entre 0,8 e 0,9 (Tabela 19 a Tabela 22).

Já as temperaturas mínimas previstas, apesar de menores que as respectivas temperaturas mínimas medidas, não foram consideradas significativas, pois as médias e as medianas das diferenças relativas entre as temperaturas máximas previstas e as respectivas temperaturas medidas diariamente foram maiores que 0,97, enquanto as médias e medianas das diferenças relativas entre as médias móveis previstas e as respectivas médias móveis medidas foram maiores que 0,96 (Tabela 23 a Tabela 26).

Considerando que as temperaturas máximas previstas são significativamente menores do que as respectivas medidas (Tabela 19 a Tabela 22), considerando que a média anual da temperatura máxima medidas é superior a 30ºC (Figura 21), que as maiores temperaturas em Barreiras ocorrem entre os meses de Outubro e Fevereiro, período recomendado pela Embrapa Milho e Sorgo (2005b) para o cultivo da safra normal de milho, e que temperaturas superiores a 30 ºC aumentam consideravelmente a respiração da planta de milho afetando negativamente o rendimento de grãos (DUARTE; PATERNIANI, 2000, FANCELLI; DOURADO NETO, 2000, MAGALHÃES; PAIVA, 1993 e VIEIRA JUNIOR, 1999), é possível inferir que o uso das previsões de temperatura máxima geradas pelo modelo Eta para Barreiras contribui para superestimar o rendimento de grãos de milho por modelo de cultura. De resto, quando examinada a distribuição mensal das diferenças relativas entre as médias mensais das previsões de temperatura e as respectivas médias mensais medidas, observa-se concentração no mês de Janeiro, a qual, apesar das medianas das diferenças relativas de todas os períodos de antecedência das previsões serem inferior a 0,89, pode acentuar a superestimativa do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura.

De modo geral, as previsões de precipitação pluvial gerada pelo modelo Eta para Barreiras são melhores distribuídas temporalmente que as respectivas precipitações pluviais medidas; porém, as precipitações pluviais previstas são muito menores que as respectivas precipitações pluviais medidas. Quanto à temperatura, as previsões geradas pelo modelo Eta tendem a reduzir as variações entre os dias e durante os dias em razão dos menores valores previstos para as temperaturas máximas e maiores valores previstos para as temperaturas mínimas. Assim, é possível inferir que a acurácia do modelo Eta para a previsão de precipitação pluvial e temperatura é a pior dos 24 locais estudados e que sua imprecisão é diretamente proporcional ao período de antecedência da previsão. Observa-se também que o comportamento e as tendências das previsões geradas pelo modelo Eta para Barreiras diferem do comportamento e das tendências verificado nos demais locais. Assim, qualquer extrapolação ou inferência das previsões realizadas nos demais locais para Barreiras fica prejudicada.

Tabela 15 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as precipitações pluviais estimadas pelo modelo Eta com 30 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil

Local	**Média**		**Mediana**		**Máximo**		**Mínimo**	
	0	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**
Barreiras	0,89	0,98	1,00	1,00	206,59	134,43	0,00	0,00
Brasília	1,11	1,00	1,00	1,00	557,46	269,37	0,00	0,00
Goianésia	1,24	1,11	1,00	1,00	732,47	484,69	0,00	0,00
Goiânia	1,05	1,00	1,00	1,00	288,38	187,76	0,00	0,00
Itumbiara	1,02	1,00	1,00	1,00	707,22	227,17	0,00	0,00
Porangatu	0,82	0,90	0,92	0,99	64,94	27,10	0,00	0,00
Rio Verde	1,00	1,00	1,00	1,00	534,71	142,62	0,00	0,00
Campo Grande	0,96	1,00	1,00	1,00	509,06	198,25	0,00	0,00
Capinópolis	1,05	1,00	1,00	1,00	249,23	154,75	0,00	0,00
Janaúba	1,33	1,20	1,00	1,00	277,37	89,45	0,00	0,00
Lavras	1,37	1,23	1,00	1,00	499,10	149,78	0,00	0,00
Paracatu	1,28	1,16	1,00	1,00	815,03	202,25	0,00	0,00
Patos de Minas	1,12	1,01	1,00	1,00	529,55	300,71	0,00	0,00
Sete Lagoas	1,23	1,11	1,00	1,00	681,27	318,08	0,00	0,00
Uberlândia	0,94	1,01	1,00	1,00	387,40	152,81	0,00	0,00
Viçosa	1,40	1,26	1,00	1,00	972,87	271,66	0,00	0,00
Cravinhos	1,20	1,03	1,00	1,00	348,67	259,25	0,00	0,00
Guaíra	1,08	1,00	1,00	1,00	195,72	56,06	0,00	0,00
Limeira	1,24	1,11	1,00	1,00	179,16	69,84	0,00	0,00
Manduri	0,59	0,65	0,75	0,89	180,29	75,02	0,00	0,00
Piracicaba	1,38	1,25	1,00	1,00	293,96	208,50	0,00	0,00
Cascavel	1,00	1,00	1,00	1,00	408,87	277,02	0,00	0,00
Londrina	1,11	1,00	1,00	1,00	362,54	148,48	0,00	0,00
Palotina	1,18	1,06	1,00	1,00	313,39	189,68	0,00	0,00

Tabela 16 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as precipitações pluviais estimadas pelo modelo Eta com 60 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil

Local	**Média**		**Mediana**		**Máximo**		**Mínimo**	
	0	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**
Barreiras	0,56	0,61	0,70	0,91	240,55	83,20	0,00	0,00
Brasília	0,77	0,84	1,00	1,00	295,95	155,98	0,00	0,00
Goianésia	0,89	0,98	1,00	1,00	289,83	254,15	0,00	0,00
Goiânia	0,95	0,99	1,00	1,00	342,60	159,27	0,00	0,00
Itumbiara	1,00	1,00	1,00	1,00	166,65	141,66	0,00	0,00
Porangatu	0,68	0,75	0,80	0,84	28,49	23,84	0,00	0,00
Rio Verde	0,93	0,99	1,00	1,00	349,75	124,83	0,00	0,00
Campo Grande	0,85	0,94	1,00	0,97	490,06	173,70	0,00	0,00
Capinópolis	1,05	1,00	1,00	1,00	323,87	151,20	0,00	0,00
Janaúba	0,79	0,87	1,00	1,00	84,78	45,28	0,00	0,00
Lavras	1,12	1,01	1,00	1,00	239,14	128,80	0,00	0,00
Paracatu	1,00	1,00	1,00	1,00	246,00	119,87	0,00	0,00
Patos de Minas	0,93	1,00	1,00	1,00	558,60	204,12	0,00	0,00
Sete Lagoas	1,00	1,00	1,00	1,00	621,39	203,70	0,00	0,00
Uberlândia	0,82	0,90	1,00	1,00	226,24	192,83	0,00	0,00
Viçosa	1,28	1,15	1,00	1,00	449,60	120,70	0,00	0,00
Cravinhos	1,02	1,00	1,00	1,00	194,14	114,61	0,00	0,00
Guaíra	0,91	1,00	1,00	1,00	194,14	73,63	0,00	0,00
Limeira	0,98	1,01	1,00	1,00	154,37	83,34	0,00	0,00
Manduri	0,54	0,59	0,48	0,85	135,64	53,32	0,00	0,00
Piracicaba	1,11	1,00	1,00	1,00	336,49	248,43	0,00	0,00
Cascavel	0,85	0,94	1,00	1,00	200,92	194,14	0,00	0,00
Londrina	0,96	0,99	1,00	0,92	389,10	209,60	0,00	0,00
Palotina	0,97	0,99	1,00	1,00	299,52	85,49	0,00	0,00

Tabela 17 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as precipitações pluviais estimadas pelo modelo Eta com 90 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil

Local	**Média**		**Mediana**		**Máximo**		**Mínimo**	
	0	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**
Barreiras	0,58	0,64	0,65	0,82	612,36	180,57	0,00	0,00
Brasília	0,78	0,85	1,00	1,00	446,86	168,35	0,00	0,00
Goianésia	0,94	1,00	1,00	1,00	195,18	97,79	0,00	0,00
Goiânia	0,99	1,00	1,00	1,00	724,26	205,18	0,00	0,00
Itumbiara	1,04	1,00	1,00	1,00	151,72	84,11	0,00	0,00
Porangatu	0,73	0,80	0,79	0,84	31,61	25,44	0,00	0,00
Rio Verde	0,96	1,00	1,00	1,00	294,61	127,22	0,00	0,00
Campo Grande	0,84	0,92	1,00	1,00	457,55	208,30	0,00	0,00
Capinópolis	1,10	1,00	1,00	1,00	347,81	130,16	0,00	0,00
Janaúba	0,83	0,91	1,00	1,00	197,94	55,90	0,00	0,00
Lavras	1,09	1,10	1,00	1,00	401,40	135,42	0,00	0,00
Paracatu	1,00	1,00	1,00	1,00	313,27	192,26	0,00	0,00
Patos de Minas	0,96	0,99	1,00	1,00	479,41	222,87	0,00	0,00
Sete Lagoas	0,99	1,00	1,00	1,00	724,08	206,26	0,00	0,00
Uberlândia	0,74	0,81	1,00	1,00	228,08	122,30	0,00	0,00
Viçosa	1,25	1,12	1,00	1,00	654,02	173,47	0,00	0,00
Cravinhos	0,99	1,00	1,00	1,00	159,15	141,80	0,00	0,00
Guaíra	0,91	1,00	1,00	1,00	120,72	57,00	0,00	0,00
Limeira	0,93	1,00	1,00	1,00	88,99	52,57	0,00	0,00
Manduri	0,43	0,47	0,70	0,85	78,07	68,98	0,00	0,00
Piracicaba	1,07	1,01	1,00	1,00	487,47	317,17	0,00	0,00
Cascavel	0,89	0,98	1,00	1,00	405,99	264,74	0,00	0,00
Londrina	0,96	0,99	1,00	0,99	356,41	161,91	0,00	0,00
Palotina	0,96	0,99	1,00	1,00	452,51	189,96	0,00	0,00

Tabela 18 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as precipitações pluviais estimadas pelo modelo Eta com 120 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil

Local	**Média**		**Mediana**		**Máximo**		**Mínimo**	
	0	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**
Barreiras	0,47	0,52	0,60	0,71	375,92	93,57	0,00	0,00
Brasília	0,78	0,86	0,80	0,82	311,76	267,42	0,00	0,00
Goianésia	0,89	0,98	0,89	0,94	395,04	222,36	0,00	0,00
Goiânia	1,00	0,99	1,00	1,00	566,84	183,38	0,00	0,00
Itumbiara	1,01	0,91	1,00	1,00	735,88	68,81	0,00	0,00
Porangatu	0,71	0,78	0,74	0,79	31,61	16,66	0,00	0,00
Rio Verde	0,95	1,05	1,00	1,00	258,95	41,35	0,00	0,00
Campo Grande	0,75	0,83	1,00	1,00	227,43	169,42	0,00	0,00
Capinópolis	1,07	1,00	1,00	1,00	254,57	244,75	0,00	0,00
Janaúba	0,62	0,68	0,82	0,89	160,66	34,00	0,00	0,00
Lavras	1,04	1,00	1,00	1,00	388,54	120,31	0,00	0,00
Paracatu	0,91	1,00	1,00	1,00	838,77	208,90	0,00	0,00
Patos de Minas	0,81	0,89	1,00	1,00	342,53	227,21	0,00	0,00
Sete Lagoas	0,86	0,95	1,00	1,00	518,82	191,91	0,00	0,00
Uberlândia	0,68	0,75	1,00	1,00	250,57	250,57	0,00	0,00
Viçosa	1,24	1,11	1,00	1,00	903,96	159,55	0,00	0,00
Cravinhos	0,91	1,00	1,00	1,00	235,98	212,57	0,00	0,00
Guaíra	0,84	0,92	1,00	1,00	151,28	75,09	0,00	0,00
Limeira	0,84	0,92	1,00	1,00	153,36	59,44	0,00	0,00
Manduri	0,39	0,42	0,68	0,74	176,16	75,02	0,00	0,00
Piracicaba	1,00	1,05	1,00	1,00	407,92	358,95	0,00	0,00
Cascavel	0,79	0,87	1,00	1,00	360,94	137,19	0,00	0,00
Londrina	0,80	0,88	1,00	0,95	316,90	157,08	0,00	0,00
Palotina	0,84	0,92	1,00	1,00	333,00	143,26	0,00	0,00

Tabela 19 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as temperaturas máximas estimadas pelo modelo Eta com 30 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil

Local	**Média**		**Mediana**		**Máximo**		**Mínimo**	
	0	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**
Barreiras	0,87	0,87	0,85	0,85	1,27	1,11	0,59	0,71
Brasília	0,97	0,97	0,98	0,97	1,53	1,22	0,58	0,74
Goianésia	0,91	0,91	0,91	0,91	1,35	1,20	0,53	0,71
Goiânia	0,92	0,92	0,91	0,91	1,48	1,17	0,55	0,71
Itumbiara	0,90	0,90	0,90	0,90	1,48	1,19	0,49	0,61
Porangatu	0,84	0,84	0,83	0,82	1,15	1,06	0,57	0,66
Rio Verde	0,96	0,95	0,97	0,97	1,52	1,24	0,53	0,69
Campo Grande	0,97	0,97	0,99	0,99	2,14	1,36	0,37	0,47
Capinópolis	0,95	0,95	0,96	0,95	1,50	1,22	0,47	0,63
Janaúba	0,89	0,88	0,88	0,88	1,20	1,10	0,53	0,63
Lavras	0,90	0,90	0,90	0,90	1,77	1,26	0,47	0,58
Paracatu	0,90	0,90	0,90	0,90	1,37	1,16	0,51	0,63
Patos de Minas	0,94	0,93	0,93	0,93	1,43	1,26	0,52	0,64
Sete Lagoas	0,91	0,90	0,90	0,90	1,45	1,25	0,45	0,57
Uberlândia	1,00	1,00	1,00	1,00	1,51	1,16	0,50	0,58
Viçosa	0,92	0,92	0,92	0,92	1,66	1,35	0,51	0,62
Cravinhos	0,93	0,92	0,93	0,92	1,51	1,25	0,50	0,59
Guaíra	0,90	0,90	0,90	0,90	1,46	1,14	0,48	0,58
Limeira	0,96	0,95	0,96	0,96	1,58	1,27	0,48	0,63
Manduri	1,04	0,97	1,03	1,00	2,31	1,44	0,37	0,37
Piracicaba	0,97	0,96	0,97	0,97	1,88	1,28	0,51	0,62
Cascavel	1,04	1,03	1,01	1,02	2,93	1,97	0,39	0,50
Londrina	1,04	1,03	1,01	1,03	1,80	1,46	0,44	0,57
Palotina	1,00	1,00	1,00	1,00	2,20	1,67	0,38	0,50

Tabela 20 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as temperaturas máximas estimadas pelo modelo Eta com 60 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil

Local	**Média**		**Mediana**		**Máximo**		**Mínimo**	
	0	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**
Barreiras	0,87	0,87	0,85	0,85	1,28	1,15	0,56	0,68
Brasília	1,00	0,99	1,00	1,00	1,62	1,41	0,69	0,77
Goianésia	0,94	0,93	0,93	0,93	1,48	1,31	0,67	0,72
Goiânia	0,95	0,95	0,94	0,94	1,80	1,29	0,56	0,73
Itumbiara	0,94	0,93	0,93	0,93	1,68	1,26	0,46	0,63
Porangatu	0,87	0,87	0,86	0,86	1,31	1,09	0,57	0,68
Rio Verde	0,99	0,99	0,99	0,99	1,62	1,33	0,50	0,66
Campo Grande	1,01	1,00	1,00	1,00	2,81	1,99	0,37	0,41
Capinópolis	0,99	0,99	0,99	0,99	1,68	1,36	0,53	0,65
Janaúba	0,89	0,89	0,91	0,91	1,43	1,20	0,61	0,73
Lavras	0,92	0,91	0,91	0,91	1,74	1,35	0,46	0,61
Paracatu	0,91	0,91	0,91	0,90	1,69	1,27	0,60	0,67
Patos de Minas	0,97	0,97	0,97	0,96	1,81	1,37	0,60	0,72
Sete Lagoas	0,94	0,93	0,93	0,93	1,51	1,27	0,54	0,68
Uberlândia	0,91	0,91	0,90	0,90	1,82	1,38	0,45	0,62
Viçosa	0,95	0,94	0,94	0,94	1,69	1,40	0,51	0,62
Cravinhos	0,96	0,96	0,96	0,95	1,68	1,42	0,53	0,61
Guaíra	0,92	0,96	0,90	0,95	1,55	1,42	0,46	0,61
Limeira	0,96	0,96	0,95	0,95	1,81	1,43	0,49	0,58
Manduri	1,00	1,00	1,00	1,00	1,92	1,51	0,31	0,43
Piracicaba	0,97	0,96	0,96	0,96	2,00	1,38	0,52	0,58
Cascavel	1,09	1,00	1,06	1,00	2,49	1,42	0,39	0,61
Londrina	1,09	1,08	1,06	1,06	2,17	1,85	0,49	0,60
Palotina	1,01	1,00	1,00	1,00	2,25	1,71	0,39	0,51

Tabela 21 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as temperaturas máximas estimadas pelo modelo Eta com 90 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil

Local	**Média**		**Mediana**		**Máximo**		**Mínimo**	
	0	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**
Barreiras	0,89	0,89	0,87	0,87	1,40	1,27	0,61	0,69
Brasília	1,02	1,02	1,00	1,00	1,70	1,45	0,65	0,73
Goianésia	0,96	0,95	0,95	0,95	1,55	1,28	0,62	0,72
Goiânia	0,98	0,97	0,97	0,97	1,86	1,35	0,60	0,71
Itumbiara	0,97	0,96	0,97	0,96	1,67	1,29	0,58	0,69
Porangatu	0,89	0,88	0,87	0,87	1,34	1,15	0,60	0,69
Rio Verde	1,00	1,00	1,00	1,00	1,64	1,33	0,60	0,73
Campo Grande	1,03	1,02	1,01	1,01	2,76	1,80	0,39	0,53
Capinópolis	1,02	1,02	1,00	1,01	1,72	1,35	0,60	0,72
Janaúba	0,94	0,93	0,94	0,94	1,42	1,21	0,64	0,69
Lavras	0,94	0,94	0,94	0,93	1,98	1,48	0,53	0,60
Paracatu	0,93	0,93	0,93	0,93	1,52	1,32	0,61	0,67
Patos de Minas	1,00	0,99	1,00	0,99	1,70	1,41	0,64	0,71
Sete Lagoas	0,96	0,95	0,96	0,95	1,75	1,38	0,55	0,63
Uberlândia	0,94	0,93	0,93	0,93	1,63	1,31	0,54	0,67
Viçosa	0,96	0,95	0,96	0,96	1,65	1,42	0,53	0,61
Cravinhos	0,99	0,98	0,99	0,99	1,78	1,42	0,56	0,64
Guaíra	0,95	0,94	0,95	0,95	1,83	1,27	0,54	0,66
Limeira	0,98	0,97	0,97	0,97	1,86	1,42	0,45	0,56
Manduri	1,02	1,01	1,00	1,01	2,31	1,61	0,37	0,42
Piracicaba	0,98	0,97	0,97	0,98	1,85	1,41	0,41	0,54
Cascavel	1,12	1,11	1,08	1,09	2,60	1,85	0,47	0,53
Londrina	1,12	1,11	1,09	1,09	2,23	1,84	0,49	0,63
Palotina	1,03	1,02	1,00	1,01	1,99	1,61	0,45	0,50

Tabela 22 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as temperaturas máximas estimadas pelo modelo Eta com 120 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil

Local	**Média**		**Mediana**		**Máximo**		**Mínimo**	
	0	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**
Barreiras	0,90	0,90	0,88	0,88	1,39	1,21	0,64	0,70
Brasília	1,03	1,03	1,00	1,01	1,66	1,44	0,71	0,77
Goianésia	0,97	0,97	0,96	0,96	1,46	1,35	0,70	0,75
Goiânia	0,99	0,99	0,99	0,99	1,71	1,30	0,64	0,76
Itumbiara	0,99	0,98	1,00	0,99	1,65	1,28	0,54	0,74
Porangatu	0,89	0,88	0,88	0,87	1,43	1,15	0,55	0,69
Rio Verde	0,99	1,03	0,99	1,02	1,38	1,40	0,48	0,76
Campo Grande	1,06	1,05	1,03	1,03	3,21	2,06	0,36	0,61
Capinópolis	1,04	1,04	1,02	1,03	1,73	1,36	0,60	0,80
Janaúba	0,96	0,95	0,96	0,95	1,41	1,23	0,63	0,69
Lavras	0,96	0,96	0,97	0,96	1,99	1,44	0,50	0,66
Paracatu	0,94	0,94	0,94	0,94	1,50	1,27	0,58	0,72
Patos de Minas	1,00	1,00	1,00	1,00	1,55	1,38	0,61	0,78
Sete Lagoas	0,97	0,97	0,98	0,97	1,66	1,38	0,51	0,68
Uberlândia	0,95	0,95	0,95	0,95	1,55	1,33	0,55	0,70
Viçosa	0,97	0,97	0,98	0,97	1,81	1,52	0,54	0,67
Cravinhos	1,00	1,00	1,00	1,00	1,79	1,35	0,54	0,68
Guaíra	0,97	0,96	0,97	0,97	1,59	1,28	0,57	0,68
Limeira	0,99	0,99	1,00	1,00	1,86	1,38	0,46	0,64
Manduri	1,04	1,04	1,03	1,02	2,31	1,64	0,37	0,51
Piracicaba	0,99	0,98	1,00	0,99	1,99	1,39	0,44	0,61
Cascavel	1,15	1,14	1,12	1,12	3,29	2,43	0,48	0,63
Londrina	1,15	1,14	1,12	1,13	2,94	2,05	0,57	0,69
Palotina	1,07	1,05	1,03	1,03	2,53	2,01	0,49	0,61

Tabela 23 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as temperaturas mínimas estimadas pelo modelo Eta com 30 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil

Local	**Média**		**Mediana**		**Máximo**		**Mínimo**	
	0	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**
Barreiras	0,98	0,97	0,97	0,97	1,93	1,66	0,63	0,78
Brasília	1,01	1,01	1,00	1,00	1,72	1,36	0,58	0,69
Goianésia	1,02	1,02	1,00	1,00	1,81	1,47	0,57	0,77
Goiânia	1,01	1,01	1,00	1,00	2,36	1,50	0,51	0,66
Itumbiara	1,06	1,04	1,00	1,01	4,50	2,41	0,44	0,67
Porangatu	1,01	1,01	1,00	1,00	2,33	1,78	0,91	0,78
Rio Verde	1,10	1,08	1,04	1,06	16,43	1,99	0,33	0,61
Campo Grande	1,12	1,09	1,07	1,08	13,46	3,70	0,26	0,48
Capinópolis	1,05	1,05	1,04	1,04	3,82	2,02	0,30	0,56
Janaúba	1,02	1,01	1,00	1,00	2,54	1,59	0,62	0,73
Lavras	1,04	1,02	1,00	1,00	3,64	2,03	0,22	0,62
Paracatu	0,98	0,98	0,97	0,97	1,71	1,40	0,55	0,66
Patos de Minas	1,09	1,08	1,06	1,06	3,04	1,86	0,48	0,72
Sete Lagoas	1,04	1,03	1,00	1,00	4,14	2,09	0,43	0,66
Uberlândia	1,06	1,05	1,02	1,03	16,39	1,76	0,44	0,64
Viçosa	1,14	1,12	1,03	1,03	4,40	2,96	0,41	0,71
Cravinhos	1,06	1,05	1,02	1,03	4,58	2,24	0,27	0,59
Guaíra	1,16	1,12	1,02	1,03	18,77	4,03	0,34	0,65
Limeira	1,16	1,13	1,07	1,08	4,60	2,37	0,26	0,62
Manduri	1,43	1,32	1,20	1,27	151,50	4,31	8,52	4,21
Piracicaba	1,20	1,18	1,11	1,11	8,80	2,56	0,39	0,73
Cascavel	1,18	1,14	1,11	1,12	172,76	87,75	134,11	124,53
Londrina	1,17	1,13	1,10	1,10	30,93	3,84	0,24	0,49
Palotina	1,22	1,31	1,14	1,15	65,79	244,89	56,72	124,26

Tabela 24 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as temperaturas mínimas estimadas pelo modelo Eta com 60 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil

Local	**Média**		**Mediana**		**Máximo**		**Mínimo**	
	0	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**
Barreiras	0,97	0,97	0,97	0,96	1,91	1,62	0,60	0,66
Brasília	0,99	0,99	1,00	0,99	1,68	1,29	0,50	0,70
Goianésia	1,00	1,00	1,00	1,00	1,58	1,38	0,62	0,74
Goiânia	0,99	0,99	1,00	1,00	2,63	1,33	0,39	0,63
Itumbiara	1,04	1,03	1,00	1,00	7,24	2,18	0,21	0,56
Porangatu	1,01	1,01	1,00	1,00	2,62	1,80	0,97	0,77
Rio Verde	1,10	1,07	1,04	1,05	19,87	1,95	0,29	0,67
Campo Grande	1,11	1,08	1,04	1,05	6,34	2,88	0,17	0,37
Capinópolis	1,06	1,05	1,03	1,03	3,66	1,67	0,20	0,57
Janaúba	0,99	0,98	0,99	0,98	1,94	1,48	0,60	0,72
Lavras	1,00	0,99	0,97	0,96	5,77	1,91	0,25	0,56
Paracatu	0,98	0,97	0,97	0,97	1,90	1,33	0,47	0,72
Patos de Minas	1,07	1,07	1,04	1,05	3,12	1,69	0,37	0,74
Sete Lagoas	1,01	1,00	0,99	0,98	3,40	1,78	0,30	0,66
Uberlândia	1,05	1,03	1,01	1,02	22,49	1,75	0,29	0,57
Viçosa	1,10	1,08	1,00	1,00	5,53	2,72	0,49	0,61
Cravinhos	1,05	1,02	1,00	1,00	15,41	3,25	0,30	0,56
Guaíra	1,14	1,12	1,00	1,00	13,74	3,25	0,26	0,56
Limeira	1,18	1,14	1,07	1,08	15,50	4,09	0,35	0,70
Manduri	1,47	1,32	1,24	1,24	171,78	10,79	10,38	19,17
Piracicaba	1,23	1,20	1,12	1,12	14,91	4,77	0,45	0,68
Cascavel	1,27	1,12	1,10	1,00	149,26	3,25	78,66	0,56
Londrina	1,17	1,12	1,06	1,06	57,54	4,30	0,17	0,51
Palotina	1,23	1,36	1,12	1,14	89,82	281,12	84,23	93,41

Tabela 25 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as temperaturas mínimas estimadas pelo modelo Eta com 90 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil

Local	**Média**		**Mediana**		**Máximo**		**Mínimo**	
	0	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**
Barreiras	0,97	0,97	0,97	0,96	1,91	1,62	0,60	0,66
Brasília	0,99	0,99	1,00	0,99	1,68	1,29	0,50	0,70
Goianésia	1,00	1,00	1,00	1,00	1,58	1,38	0,62	0,74
Goiânia	0,99	0,99	1,00	1,00	2,63	1,33	0,39	0,63
Itumbiara	1,04	1,03	1,00	1,00	7,24	2,18	0,21	0,56
Porangatu	1,01	1,00	1,00	1,00	2,62	1,80	0,97	0,77
Rio Verde	1,10	1,07	1,04	1,05	19,87	1,95	0,29	0,67
Campo Grande	1,11	1,08	1,04	1,05	6,34	2,88	0,17	0,37
Capinópolis	1,06	1,05	1,03	1,03	3,66	1,67	0,20	0,57
Janaúba	0,99	0,98	0,99	0,98	1,94	1,48	0,60	0,72
Lavras	1,00	0,99	0,97	0,96	5,77	1,91	0,25	0,56
Paracatu	0,98	0,97	0,97	0,97	1,90	1,33	0,47	0,72
Patos de Minas	1,07	1,07	1,04	1,05	3,12	1,69	0,37	0,74
Sete Lagoas	1,01	1,00	0,99	0,98	3,40	1,78	0,30	0,66
Uberlândia	1,05	1,03	1,01	1,02	22,49	1,75	0,29	0,57
Viçosa	1,10	1,08	1,00	1,00	5,53	2,72	0,49	0,61
Cravinhos	1,05	1,02	1,00	1,00	15,41	3,25	0,30	0,56
Guaíra	1,14	1,12	1,00	1,00	13,74	3,25	0,26	0,56
Limeira	1,18	1,14	1,07	1,08	15,50	4,09	0,35	0,70
Manduri	1,47	1,32	1,24	1,24	171,78	10,79	10,38	19,17
Piracicaba	1,23	1,20	1,12	1,12	14,91	4,77	0,45	0,68
Cascavel	1,27	1,12	1,10	1,00	149,26	3,25	78,66	0,56
Londrina	1,17	1,12	1,06	1,06	57,54	4,30	0,17	0,51
Palotina	1,23	1,36	1,12	1,14	89,82	281,12	84,23	93,41

Tabela 26 – Médias, medianas, valores máximos e mínimos das diferenças relativas diárias e suas médias móveis com intervalo de cinco dias entre as temperaturas mínimas estimadas pelo modelo Eta com 120 dias de antecedência e suas respectivas medidas entre os dias 16/7/1997 e 15/6/2002 em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil

Local	**Media**		**Mediana**		**Maximo**		**Mínimo**	
	0	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**	**0**	**5**
Barreiras	0,98	0,98	0,98	0,98	1,65	1,37	0,57	0,68
Brasília	1,04	1,03	1,02	1,02	1,79	1,43	0,47	0,73
Goianésia	1,02	1,02	1,00	1,00	1,60	1,40	0,60	0,77
Goiânia	1,03	1,03	1,01	1,02	2,85	1,58	0,44	0,72
Itumbiara	1,08	1,06	1,03	1,04	7,46	2,34	0,28	0,72
Porangatu	1,04	1,03	1,01	1,01	2,47	1,85	0,86	0,81
Rio Verde	1,01	1,11	1,00	1,09	2,69	2,42	1,04	0,69
Campo Grande	1,15	1,12	1,07	1,08	13,81	3,57	0,04	0,43
Capinópolis	1,06	1,05	1,06	1,04	3,73	1,96	0,13	0,64
Janaúba	1,00	0,99	1,00	1,00	2,50	1,66	0,57	0,68
Lavras	1,03	1,01	1,00	1,00	6,47	2,06	0,25	0,63
Paracatu	1,00	1,00	1,00	1,00	2,11	1,39	0,50	0,70
Patos de Minas	1,11	1,10	1,08	1,09	3,10	1,81	0,59	0,75
Sete Lagoas	1,03	1,02	1,00	1,00	3,78	2,09	0,56	0,70
Uberlândia	1,07	1,05	1,03	1,04	21,71	1,81	0,37	0,71
Viçosa	1,10	1,10	1,00	1,00	5,78	2,82	0,48	0,57
Cravinhos	1,08	1,06	1,03	1,04	10,94	3,01	0,34	0,61
Guaíra	1,18	1,13	1,04	1,05	23,68	3,09	0,43	0,69
Limeira	1,20	1,16	1,09	1,10	12,69	3,83	0,44	0,67
Manduri	1,43	1,27	1,20	1,22	151,50	8,85	8,52	14,36
Piracicaba	1,24	1,20	1,12	1,13	13,50	4,36	0,54	0,72
Cascavel	1,21	1,14	1,14	1,16	176,16	87,19	196,29	321,69
Londrina	1,22	1,16	1,12	1,12	41,08	3,84	0,01	0,38
Palotina	1,28	1,38	1,18	1,16	82,84	307,31	81,04	151,64

4.3 Estimativa e previsão do rendimento de grãos de milho

Antes da discussão dos resultados sobre a estimativa e a previsão do rendimento de grãos de milho, convém reiterar que o principal enfoque deste trabalho é propor uma metodologia para a Previsão de Safras, no caso a previsão do rendimento de grãos de milho. Assim, é preciso considerar a precisão e a acurácia da estimativa do rendimento de grãos de milho (RE, $kg.ha^{-1}$) pelo modelo de cultura, a partir de valores medidos dos parâmetros climáticos, bem como a precisão e a acurácia da previsão do rendimento de grãos de milho (RP, $kg.ha^{-1}$) pelo referido modelo de cultura, utilizando-se valores previstos dos parâmetros climáticos.

No caso da precisão do modelo de culturas, a partir da classificação adotada de significância das diferenças relativas (Tabela 9), observa-se pelas médias e medianas das diferenças relativas entre os rendimentos estimados pelo modelo com parâmetros climáticos medidos e os respectivos rendimento máximos medidos que o modelo de culturas proposto pode ser considerado preciso, pois são poucos os locais em que as médias e as medianas das diferenças relativas são menores que a unidade, havendo predominância de médias e medianas das diferenças relativas consideradas pouco superestimadas (Figura 29). A predominância de médias e medianas pouco superestimadas, ou seja, em que os rendimentos estimados são entre 10 a 30% maiores que os respectivos rendimentos medidos, é coerente com a hipótese de que os ensaios, mesmo otimizando a produção da planta, estão submetidos a estresses não considerados pelo modelo de culturas. A média (1,10) e a mediana (1,11) das diferenças relativas entre os rendimentos estimados e os rendimentos máximos medidos corroboram a afirmação da precisão do modelo de culturas. Porém, a simples observação das médias e medianas apresentadas na Figura 29 indica que o modelo não foi acurado, fato confirmado pelas diferenças relativas máximas (1,74) e mínimas (0,37) das diferenças relativas (Figura 30), implicando que em alguns locais os rendimentos estimados foram considerados muito superestimadas, ao passo que em outros foram tidos como muito subestimados.

Com relação à previsão do rendimento de grãos de milho, observa-se (Figura 29) que, no geral, a interação entre os erros do modelo de cultura e os erros do modelo Eta implicaram aumento dos erros na previsão do rendimento de grãos de milho, o que resultou que as previsões do rendimento de grãos fossem consideradas pouco superestimadas, média e mediana das diferenças relativas entre os rendimentos previstos com valores de parâmetros climáticos previstos pelo modelo Eta e os rendimentos máximos medidos iguais a 1,26. Quando examinadas as

diferenças relativas máximas (1,93) e mínimas (0,04), como no caso das estimativas do rendimento de grãos de milho, pode-se inferir que as previsões também não foram acuradas (Figura 30).

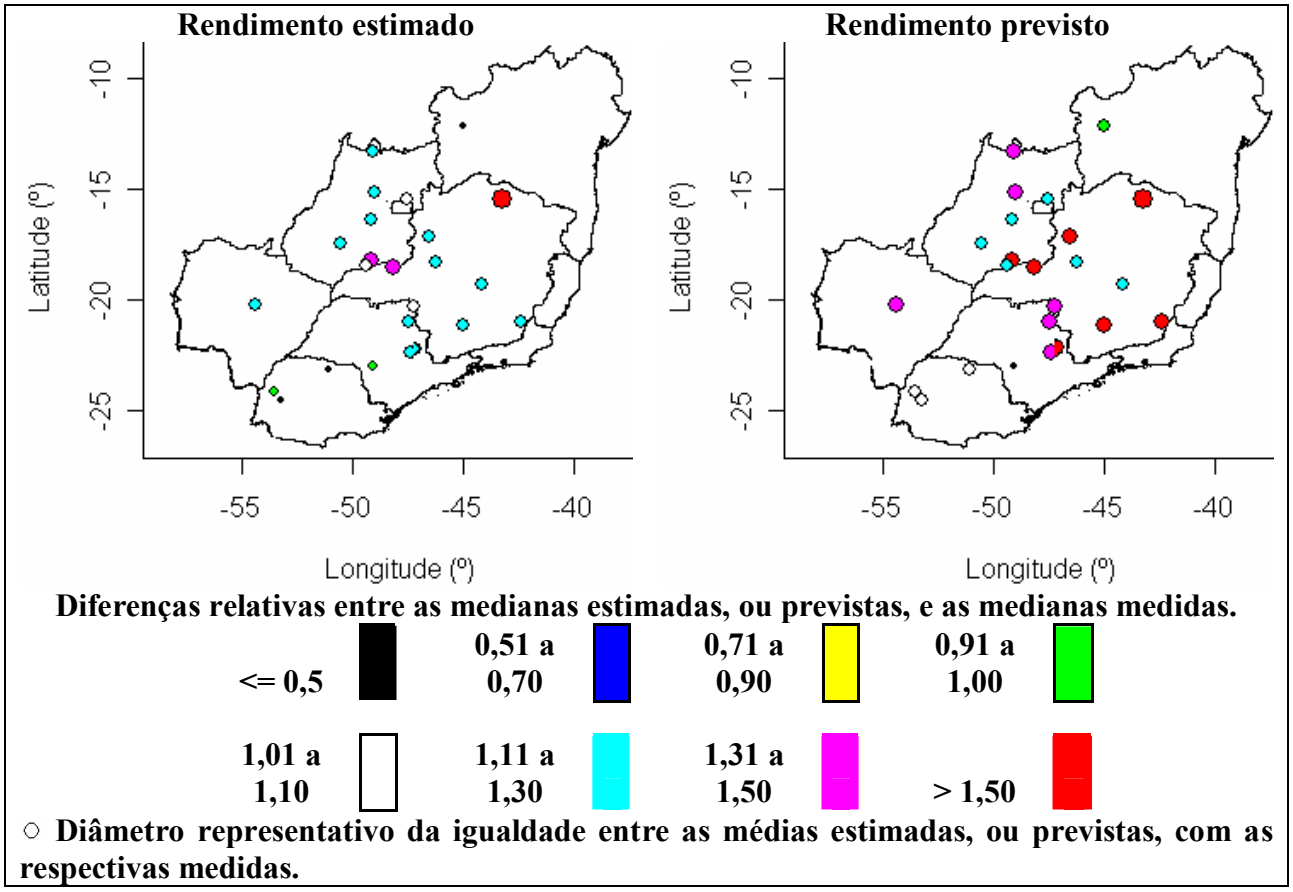


Figura 29 – Distribuição espacial das médias e medianas das diferenças relativas entre os rendimentos estimados, ou os rendimentos previstos, com os respectivos rendimentos máximos medidos de grãos de milho em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil. Os diâmetros das legendas são proporcionais à média

A inacurácia das estimativas do rendimento de grãos de milho implica a necessidade da análise segundo os locais e as safras das estimativas do modelo de cultura, considerando seus principais aspectos, ou seja, a radiação incidente, a assimilação de CO_2, temperatura e a dinâmica de água no sistema agrícola. Já a pouca acurácia das previsões no rendimento de grãos de milho é decorrente das interações entre os erros inerentes ao modelo de cultura e os erros inerentes ao

modelo Eta, o que requer a compreensão dos erros do modelo de cultura confrontados aos erros do modelo Eta discutidos no tópico 4.2.

Para a melhor compreensão desses aspectos, as discussões sobre os erros inerentes ao modelo de culturas e suas interações com os erros inerentes ao modelo Eta serão apresentadas nos tópicos 4.3.1 a 4.3.6 a seguir, segundo as unidades da federação.

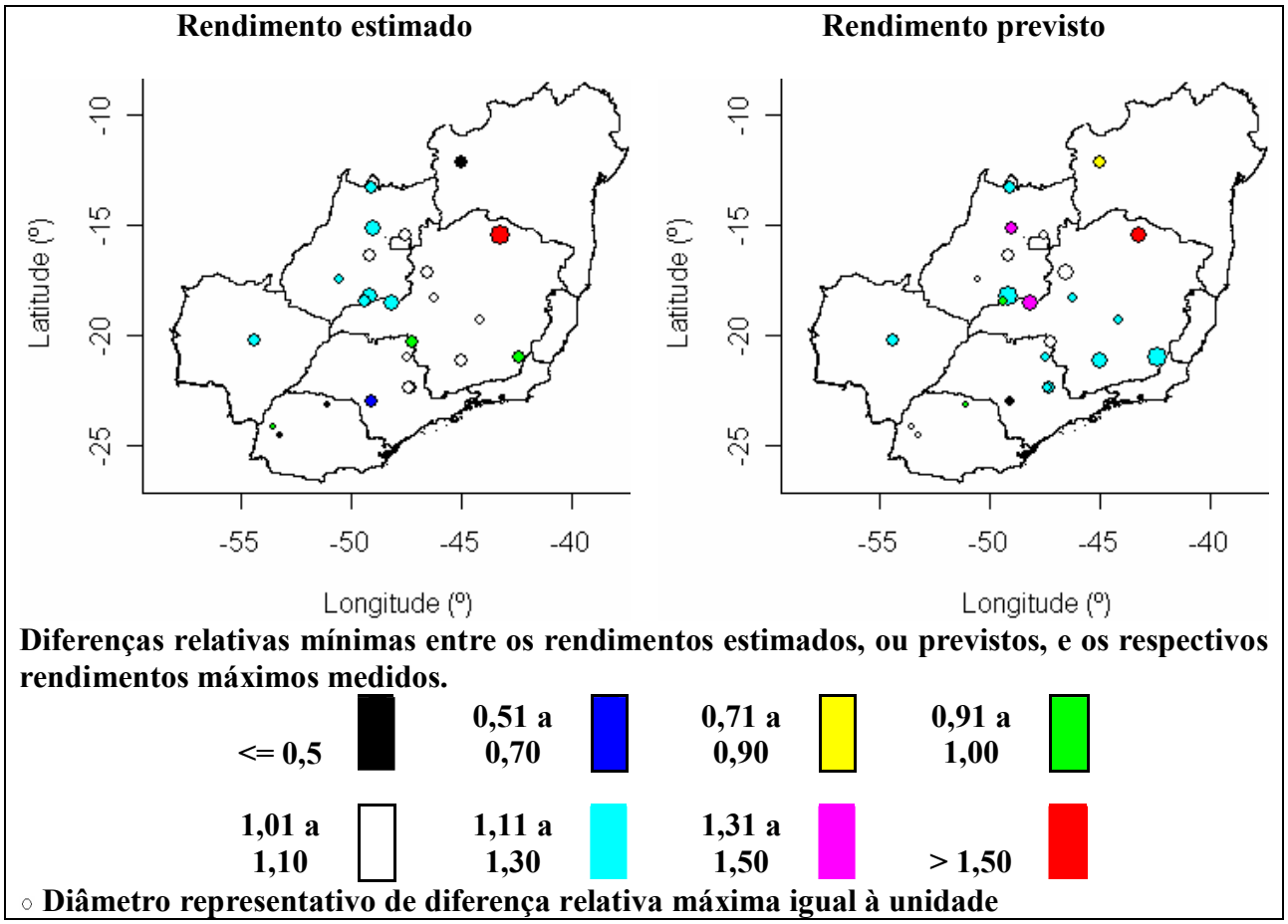


Figura 30 – Distribuição espacial dos valores máximos e mínimos das diferenças relativas entre os rendimentos estimados, ou os rendimentos previstos, com os respectivos rendimentos máximos medidos de grãos de milho em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil. Os diâmetros das legendas são proporcionais à média e ao valor máximo

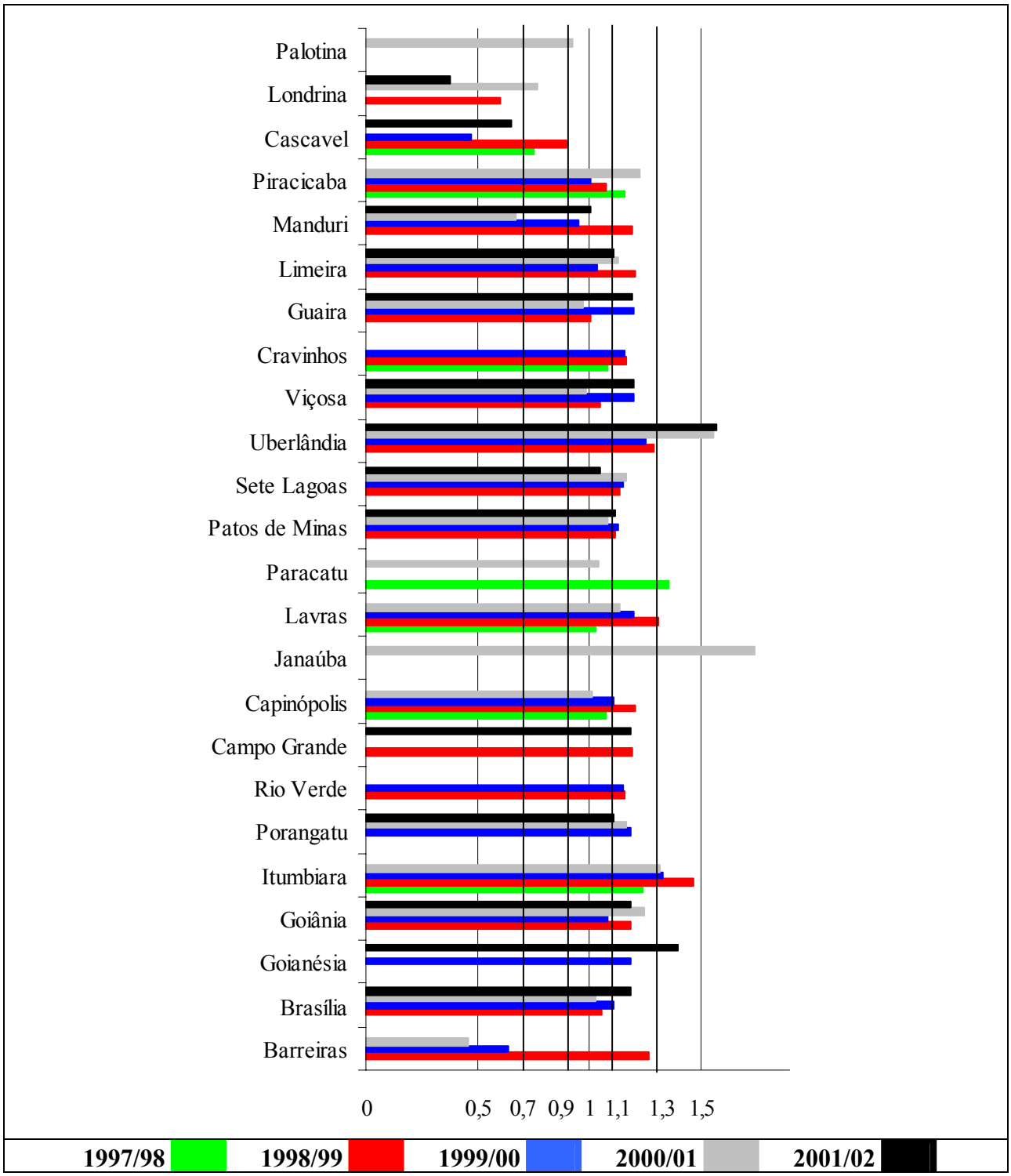


Figura 31 – Diferenças relativas entre os entre os rendimentos estimados e os respectivos rendimentos máximos medidos de grãos de milho em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil nas safras 1997/98 a 2001/02

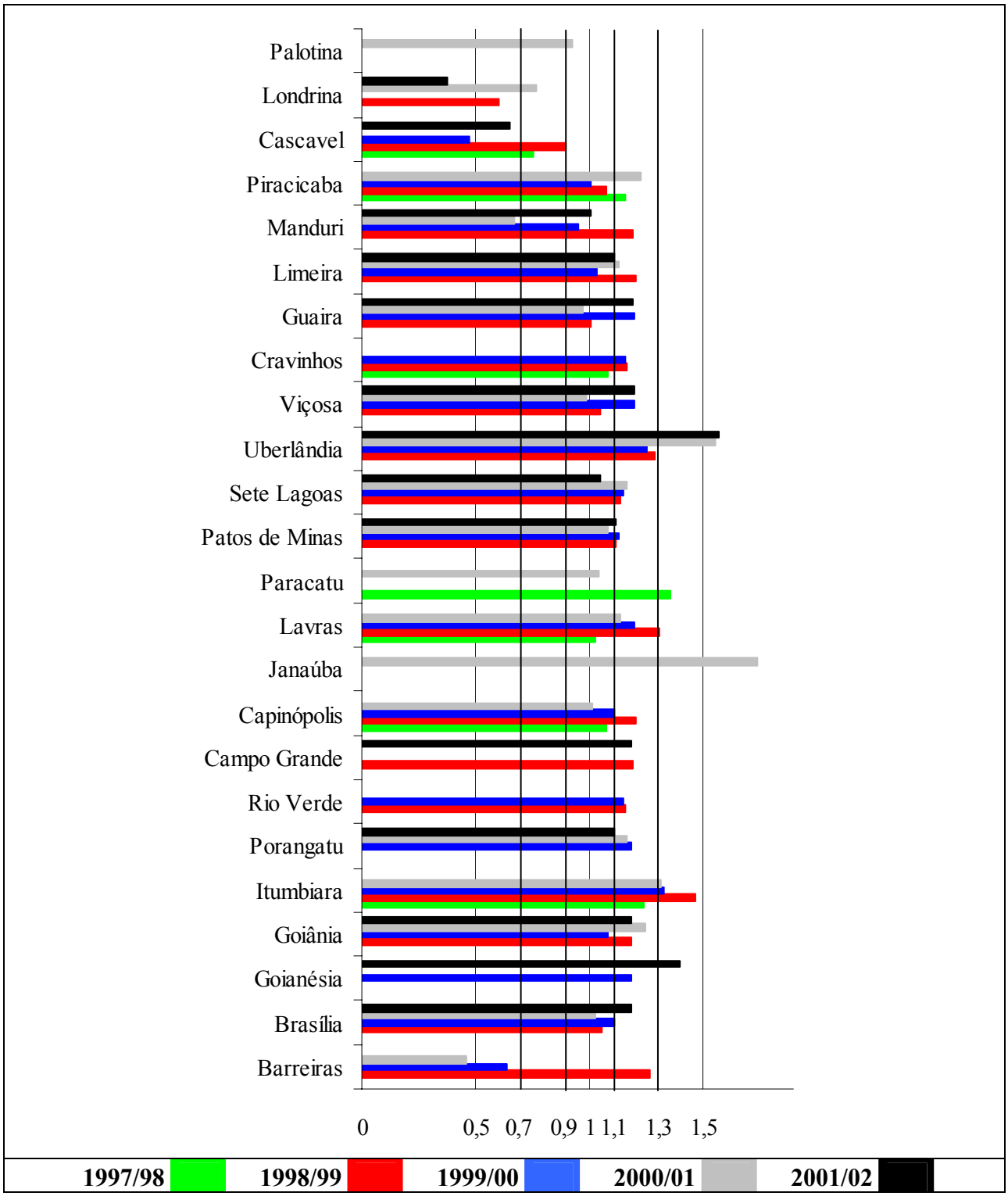


Figura 32 – Diferenças relativas entre os entre os rendimentos previstos e os respectivos rendimentos máximos medidos de grãos de milho em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil nas safras 1997/98 a 2001/02

4.3.1 Paraná

Em todos os locais e safras examinados no Paraná o modelo de culturas apresentou erros significativos. Segundo a classificação proposta na Tabela 9, os rendimentos de grãos estimados pelo modelo de culturas com valores medidos dos parâmetros climáticos foram muito subestimados para Cascavel e Londrina e não significativos com tendência a subestimados em Palotina (Figura 29). É interessante observar que as maiores diferenças relativas nesses locais foram menores que a unidade (Figura 30), o que corrobora a afirmação da exacerbada tendência do modelo de culturas de subestimar o rendimento de grãos de milho nessa região.

Na safra 2001/02 ocorreram as maiores diferenças relativas entre os rendimentos estimados pelo modelo de culturas com parâmetros climáticos medidos e os rendimentos máximos medidos em Cascavel e Londrina, ao passo que na safra 1998/99 essas diferenças foram minimizadas para ambos os locais, a despeito do rendimento estimado em Londrina ter sido considerado muito subestimado, por conta de seu valor inferior ao rendimento médio medido. Também deve-se apontar que na safra 2000/01, a despeito do rendimento estimado em Londrina ter sido considerado muito subestimado em função de seu valor inferior ao rendimento médio medido, as diferenças foram minimizadas em Londrina e consideradas não significativas, com tendência a subestimativas, em Palotina (Figura 31). Desses resultados, notadamente a menor diferença relativa em Palotina, local com menor altitude que Cascavel e Londrina (Tabela 11) e temperaturas médias maiores (NIMER, 1989), pode-se inferir que a temperatura foi o principal fator a afetar negativamente o desempenho do modelo de cultura.

Observando-se as precipitações pluviais diárias durante os ciclos estimados entre as datas de semeadura e de maturidade fisiológica da cultura nas safras 1997/98 (156 dias) e 2001/02 (157 dias) em Cascavel, verifica-se que, embora a média diária de precipitação pluvial seja maior durante a safra 1998/99 (0,56 cm) do que na safra 2001/02 (0,43 cm), os potenciais de água no solo não foram prejudiciais à cultura em ambas as safras (BRUNINI et al., 1982); inclusive, o potencial médio de água no solo estimado durante a safra 2001/02 (6.506 cm) foi menor que o estimado na safra 1998/99 (6.625 cm), o que indica maior disponibilidade de água para a cultura. Porém, os coeficientes hídricos (kH) estimados nas safras 1998/99 (0,31) e 2001/02 (0,24) em Cascavel apresentam diferenças consideráveis.

Em Londrina, a precipitação pluvial média diária durante o ciclo da cultura (146 dias) na safra 1998/99 (0,51 cm) foi menor que durante o ciclo da cultura (147 dias) na safra 2000/01

(0,58 cm), observando-se que em ambas as safras os potenciais de água no solo também não foram prejudiciais à cultura (BRUNINI et al., 1982). Ainda em Londrina o coeficiente hídrico médio estimado na safra 1998/99 (0,32) foi maior que na safra 2000/01 (0,25).

A partir dessas observações sobre as estimativas realizadas pelo modelo de cultura sobre o regime de água durante as safras citadas, é possível inferir que a estimativa da dinâmica de água no solo realizada pelo modelo de cultura não apresentou resultados suficientes para explicar os rendimentos de grãos subestimados. Porém, os coeficientes hídricos, que expressam a dinâmica de água no sistema agrícola, foram baixos, o que comprometeu a estimativa do rendimento de grãos de milho pelo modelo de cultura. Nesse caso, há que se considerar que o coeficiente hídrico expressa a dinâmica de água em todo o sistema, inclusive nas fases planta e atmosfera, ambas dependentes da temperatura.

Em Cascavel, as médias das temperaturas máximas e mínimas durante o ciclo estimado da cultura foram de 29,0ºC e 18,5ºC na safra 1998/99 e 28,0ºC e 18,0ºC na safra 2001/02, enquanto os desvios em relação à média das temperaturas máximas e mínimas foram de 3,3ºC e 2,8ºC na safra 1998/99 e 2,9ºC e 2,1ºC na safra 2001/02. Já em Londrina, as médias das temperaturas máximas e mínimas durante o ciclo estimado da cultura foram de 28,7ºC e 19,6ºC na safra 1998/99 e 28,3ºC e 19,2ºC na safra 2001/02, ao passo que os desvios em relação à média das temperaturas máximas e mínimas foram de 2,7ºC e 1,7ºC na safra 1998/99 e 2,6ºC e 1,7ºC na safra 2001/02. Essas observações sobre a temperatura nasa safras 1998/99 e 2001/02 em Cascavel e Londrina indicam que a temperatura durante o ciclo da cultura foi menor na safra 2001/02, em ambos os locais.

Esses resultados sugerem que a menor temperatura na safra 2001/02 pode ter contribuído para a subestimação no rendimento de grãos pelo modelo de cultura. No caso do modelo de cultura, deve-se considerar que o coeficiente hídrico (kH) apresentado na eq. (117) é o quociente entre a Transpiração diária da cultura (TR_i, $cm.dia^{-1}$), estimada pela eq. (146), e a Transpiração Máxima estimada pela eq. (143) A Transpiração Máxima é dependente do Índice de Área Foliar (IAF_i, $m^2.m^{-2}$), da Evapotranspiração de Referência (ET_{0_i}, $cm.dia^{-1}$) e da velocidade do vento, entre outros fatores, que, à exceção da evaporação máxima do solo (E_{Max_i}, $cm.dia^{-1}$), não estão diretamente associados pelo modelo de cultura à temperatura do ar. Já a Transpiração diária da cultura (TR_i, $cm.dia^{-1}$) é dependente da diferença entre o potencial de água na atmosfera (ψ_{Ar_i}, cm) e o potencial de água no solo (ψ_{Solo_i}, cm), intermediada pelas resistências da planta. Segundo

Heemst (1986), Kiniry (1991) e Nickell (1983) e Stockle e Nelson (2005), as resistências mais importantes são as representadas pela raiz, que podem ser estimadas em função da profundidade do sistema radicular (Z_{Raiz_i}, cm) e condutividade hidráulica do solo ($kSolo_i$) pela eq. (144) e pelo somatório das resistências do colmo e das folhas, ou resistência da parte aérea ($Re_{Aérea_i}$) apresentada na eq. (145), estimada em função do potencial de água na folha (ψ_{Folha}, cm), considerado nesse caso igual a 17000 cm.

Para Lucchesi e Peres (2005) o principal mecanismo de controle do fluxo de água na planta é dado pelos estômatos, cujo funcionamento depende do *deficit* de pressão de vapor entre a folha e a atmosfera, da concentração de CO_2 no mesófilo da folha e da radiação incidente, entre outros fatores. Ou seja, a equação eq. (145), proposta para estimar a resistência da parte aérea, é insuficiente para estimar a resistência da parte aérea, pois sequer considera a variação no potencial de água da folha. Assim, sabendo que o potencial de água na atmosfera, estimado pela eq. (127), e o potencial de água na folha são diretamente dependentes da temperatura do ar, é possível inferir que as menores temperaturas contribuíram para que o modelo de cultura subestimasse a Transpiração diária, reduzindo o coeficiente hídrico e, conseqüentemente, a estimativa do rendimento de grãos.

As estimativas de rendimento de grãos mais próximas do rendimento máximo medido em Palotina corroboram essa hipótese, pois, embora durante o ciclo da cultura (138 dias) a média do potencial de água estimado durante a safra 2000/01 (6.995 cm) fosse menor nesse local do que os respectivos potenciais na safra 2001/02 em Cascavel e Londrina, o coeficiente hídrico médio estimado na safra 2000/01 (0,27) foi maior em Palotina, onde a média das temperaturas máximas (31,6ºC) e mínimas (19,4ºC) durante o ciclo da cultura na safra 2000/01 foi maior que as respectivas médias verificadas em Cascavel e Londrina nas safras 1998/99 e 2001/00.

É preciso considerar que as precipitações pluviais médias em Cascavel e Londrina foram menores na safra 2001/02 que na safra 1998/99, o que pode contribuir para exacerbar o efeito negativo das menores temperaturas na estimativa do rendimento de grãos de milho; entretanto, é possível inferir que o modelo de cultura proposto não é adequado para a estimativa do rendimento de grãos de milho em regiões com temperaturas semelhantes às registradas em Cascavel e Londrina durante as safras analisadas, admitindo-se as temperaturas de Palotina como limites inferiores para uma boa estimativa do rendimento de grãos de milho pelo modelo de cultura proposto. Ou seja, os resultados da estimativa do rendimento de grãos de milho obtidos no Paraná

sugerem que o modelo seja adequado para temperaturas máximas e mínimas maiores que 31 ºC e 19ºC, respectivamente.

A despeito dos resultados que comprometem a aplicação desse modelo de culturas em regiões com temperaturas máximas menores que 30ºC, são sugeridas alterações na estimativa do coeficiente hídrico, o qual determina a produção da planta. Nesse caso, uma possibilidade é incorporar ao modelo de cultura o modelo de condutância estomática para folhas de plantas C4, descrito por Colltz, Ribas-Carbo e Berry (1992), o qual considera, entre outros fatores, o potencial de água na folha e a variação da difusividade do CO_2 em função da temperatura.

Quanto às previsões do rendimento de grãos de milho considerando os valores previstos de parâmetros climáticos, observa-se que, em geral, as previsões do modelo Eta contribuíram para minimizar a diferença relativa em relação às respectivas diferenças relativas estimadas, pois em todos os locais e safras examinados no Paraná as diferenças entre as diferenças relativas previstas e as respectivas diferenças relativas estimadas foram positivas (Tabela 27).

Os rendimentos previstos maiores que os respectivos rendimentos estimados indicam que a hipótese suscitada no tópico 4.2.1, de que a previsão de menor precipitação pluvial pelo modelo Eta reduziria a previsão do rendimento de milho pelo modelo de cultura, não foi confirmada. Observa-se na Tabela 23 que o modelo Eta previu, com 30 dias de antecedência para Cascavel e Londrina, temperaturas mínimas, em média, 18 e 17% maiores que as temperaturas mínimas medidas, e que essa diferença aumentou segundo o período de antecedência da previsão, chegando a 21 e 22% nas previsões com 120 dias de antecedência (Tabela 26). Uma vez que as previsões de temperatura geradas pelo modelo Eta tendem a minimizar a amplitude térmica durante o dia , no caso do Paraná pela previsão de temperaturas mínimas mais elevadas, esses resultados corroboram a hipótese de que temperaturas menores contribuem para a subestimativa do rendimento de grãos de milho pelo modelo de cultura. O resultado contribuiu para que os rendimentos previstos pelo modelo de cultura utilizando parâmetros climáticos previstos pelo modelo Eta não diferissem significativamente dos rendimentos máximos medidos.

A princípio, os resultados podem sugerir a possibilidade da Previsão de Safras via utilização do modelo de cultura proposto e as previsões de parâmetros climáticos geradas pelo modelo Eta; porém deve ser vislumbrada a impossibilidade de antevisão dos resultados dessas interações, inviabilizando, assim, a Previsão de Safras na região pela utilização do modelo Eta e o modelo de cultura proposto no tópico 3.3.

4.3.2 Mato Grosso do Sul

De todos os locais examinados, Campo Grande foi aquele em que o modelo de cultura apresentou a melhor acurácia, pois a média (19,1%) e a mediana (19,1%) das diferenças relativas entre os rendimentos estimados pelo modelo de cultura utilizando-se os parâmetros climáticos medidos e os respectivos rendimentos máximos medidos (Figura 29), e as diferenças máxima (19,5%) e mínima (18,6%) entre os rendimentos estimados e os respectivos rendimentos máximos medidos (Figura 30) são bastante próximas. Foram estimados os rendimentos em apenas duas safras, 1998/99 e 2000/01; contudo, os rendimentos medidos nessas duas safras são contrastantes (Tabela 12), sugerindo diferenças entre os parâmetros climáticos dessas safras, diferenças consideradas pelo modelo de cultura em suas estimativas.

A média diária de precipitação pluvial entre a data da semeadura e a data da maturidade fisiológica estimada das plantas pelo modelo de cultura foi de 0,56 cm na safra 1998/99 e 0,70 cm na safra 2001/02, portanto distintas e coerentes com as variações dos rendimentos medidos entre essas safras.

Já as médias diárias das temperaturas máximas (31,1ºC e 30,6ºC) e das temperaturas (21,0ºC e 20,7ºC) mínimas nas safras 1998/99 e 2001/02 foram próximas. Uma vez que o ciclo entre a data da semeadura e a maturidade fisiológica das plantas é estimado pelo modelo de cultura em função das temperaturas máximas e mínimas, verifica-se que os ciclos estimados para as safras 1998/99 (106 dias) e 2001/02 (107) indicam a acurácia dessa estimativa do modelo de cultura. Porém, os ciclos estimados são bastante distintos dos respectivos ciclos medidos apresentados na Tabela 10, o que não indica a imprecisão do modelo de cultura levando-se em conta que os ciclos medidos são obtidos em função da data do ponto de colheita, a qual, em geral, ocorre após a maturidade fisiológica da planta (CARVALHO; NAKAGAWA, 1988). Deve-se observar ainda que o ciclo medido na safra 2001/02 (156 dias) extrapola o ciclo máximo indicado por Duarte e Paterniani (2000), Embrapa Milho e Sorgo (2005b) e Vieira Junior (1999) para germoplasmas de ciclo precoce na região Centro-Sul do Brasil, sugerindo que esse ensaio foi colhido após o ponto de colheita, uma prática comum entre agricultores da região, segundo Embrapa Milho e Sorgo (2005b) e Fancelli e Dourado Neto (1997).

Quanto aos rendimentos de grãos de milho previstos pelo modelo de cultura para Campo Grande utilizando-se parâmetros climáticos gerados pelo modelo Eta, observa-se na Tabela 27 que o rendimento previsto na safra 2001/02 (Figura 32) não diferiu significativamente do

respectivo rendimento estimado (Figura 31) e do respectivo rendimento máximo medido. Portanto, as previsões de parâmetros climáticos pelo modelo Eta foram adequadas ao propósito da Previsão de Safras, rejeitando assim a hipótese discutida no tópico 1.2.2 de que as menores precipitações pluviais previstas comprometeriam a previsão do rendimento de grãos de milho.

Já o rendimento previsto na safra 1998/99 (Figura 32) diferiu significativamente do respectivo rendimento estimado (Figura 31) e, conseqüentemente, do respectivo rendimento máximo medido, implicando que a média e a mediana das diferenças relativas entre os rendimentos previstos e os respectivos rendimentos máximos medidos fosse considerada superestimada (Figura 29), comprometendo assim a utilização dos parâmetros climáticos gerados pelo modelo Eta para previsão do rendimento de grãos de milho em Campo Grande.

Comparando-se as médias diárias das precipitações pluviais medidas em períodos de 30 dias contados aos 30 (0,57 cm), 60 (0,71 cm), 90 (0,34 cm) e 120 (0,48 cm) dias após a semeadura (17/12/1998) às previsões geradas pelo modelo Eta com 30 (0,97 cm), 60 (0,91 cm), 90 (0,36 cm) e 120 (0,21 cm) dias de antecedência, observa-se que até 90 dias as precipitações pluviais previstas eram maiores que as respectivas precipitações pluviais medidas, o que explica a diferença entre os rendimentos previstos e os respectivos rendimentos medidos (Tabela 27). Quanto ao fato de que precipitação pluvial prevista com 120 dias de antecedência é menor que a respectiva precipitação pluvial medida, deve-se considerar sua proximidade com o ponto de maturidade fisiológica estimado, não representando, portanto, restrição hídrica significativa para a previsão do modelo.

De modo geral o modelo de culturas é acurado para a estimativa do rendimento de grãos de milho em Campo Grande, podendo, pois, ser utilizado para a previsão do rendimento de grãos de milho; porém, uma vez que o objetivo deste trabalho é a Previsão de Safras, o erro inerente ao modelo Eta compromete sua utilização. Neste caso, observa-se que os resultados contrariam a hipótese discutida no tópico 4.2.2, notadamente quanto ao possível efeito da concentração de precipitações pluviais previstas menores que as respectivas precipitações pluviais medidas no período recomendado para cultivo de milho em Campo Grande. Portanto, os resultados sugerem a necessidade de estudos de maior fôlego sobre as previsões geradas pelo modelo Eta, no sentido de minimizar seus erros em Campo Grande.

4.3.3 São Paulo

De modo geral o modelo de cultura foi adequado para estimar o rendimento de grãos de milho nos locais observados em São Paulo, pois as médias e as medianas das diferenças relativas nas safras consideradas indicam que os rendimentos estimados foram cerca de 10% maiores que os rendimentos medidos (Figura 29), o que atende a premissa de que os rendimentos medidos sofrem estresses não considerados pelo modelo de cultura. A exceção foi Manduri, onde o rendimento estimado foi tido como não significativo, ainda que com tendência a subestimativa.

Quando observadas as diferenças relativas máximas e mínimas entre os rendimentos estimados pelo modelo de cultura e os respectivos rendimentos medidos (Figura 30), reitera-se a acurácia do modelo de cultura, pois as diferenças relativas máximas foram da ordem de 20,0% para Piracicaba, 19,0% para Guaíra, Limeira e Manduri e 16,0% para Cravinhos, ou seja, dentro do limite considerado aceitável por Affholder, Rodrigues e Assad (1997), Assis (2004), Brunini et al. (1982), Costa (1997), Duarte e Paterniani (2000) e Figueredo Júnior (2004). Porém, as diferenças relativas mínimas indicam a tendência do modelo de culturas em subestimar o rendimento de grãos em determinadas situações, pois, enquanto em Cravinhos a menor diferença relativa foi de 8,6%, em Limeira de 3,3% e em Piracicaba de 0,7%, ou seja, as menores estimativas de rendimento de grãos foram maiores que os rendimentos máximos medidos, atendendo à premissa de que o modelo de cultura deve sempre estimar rendimentos maiores que os medidos no Ensaio Nacional de Milho; em Guaíra (-2,9%) e Manduri (-32,7%) as diferenças relativas foram inferiores à unidade.

Em Manduri, na safra 1998/99, o rendimento estimado foi 19,3% maior que o rendimento medido; portanto, a estimativa do rendimento de grãos de milho pelo modelo de cultura foi adequada nessa safra. Na safra 2001/02, o rendimento de grãos estimado pelo modelo de cultura foi considerado não significativo (+1,1%), o que indica a tendência do modelo de cultura de subestimar o rendimento de grãos quando comparado às estimativas da safra 1998/99. Já na safra 1999/00, o rendimento de grãos estimado pelo modelo de cultura foi (-4,8%) menor que o rendimento medido, sendo que na safra 2000/01 o modelo de cultura exacerbou tal erro (-32,7%), conforme pode ser observado na Figura 31.

Comparando-se os coeficientes hídricos (kH), estimados na eq. (117) pelo modelo de cultura, nas safras 1998/99 (0,63) e 2000/01 (0,28) em Manduri observa-se que esses valores podem ser conseqüência da estimativa da dinâmica da água no solo, notadamente levando-se em

conta que os potenciais de água no solo entre a semeadura e a maturidade fisiológica estimada das plantas , 148 dias em ambas as safras, foram maiores na safra 2000/01 (6.298 cm) que na safra 1998/99 (4.788 cm), além de a mediana dos potenciais de água no solo durante a safra 1997/98 (34,7 cm) ser significativamente menor que a respectiva mediana na safra 2000/01 (1773 cm), indicando menor estimativa da disponibilidade de água para a cultura na safra 2000/01 e, portanto, coerente com os coeficientes hídricos. Porém, essa estimativa da dinâmica de água no solo realizada pelo modelo de cultura em Manduri é incompatível com a média da precipitação pluvial diária medida durante o ciclo das culturas nas safras 1998/99 (0,62 cm) e 2000/01 (0,69 cm) e com as médias das Evapotranspirações de referência (ET_{0_i}, $cm.dia^{-1}$) medidas, 0,99 $cm.dia^{-1}$ na safra 1998/99 e 0,92 $cm.dia^{-1}$ na safra 2001/02. Observa-se ainda que entre o 12° e o 31° dias após a semeadura da safra 1998/99 a precipitação pluvial foi nula, enquanto que na safra 2000/01 o período máximo de estiagem durante o ciclo da cultura foi de sete dias, entre o 40º e 46º dias após a semeadura (DAS); o que contribui para explicar os menores rendimentos máximo e médios medidos na safra 1998/99 (Tabela 12), indicando que a estimativa da dinâmica de água no sistema agrícola realizada pelo modelo de cultura não foi adequada para Manduri.

As dinâmicas de água estimadas pelo modelo de cultura são coerentes com os coeficientes hídricos estimados em Manduri; porém, os erros inerentes ao modelo de cultura são relacionados à estimativa da dinâmica de água no sistema, notadamente na fase solo. Nesse caso, observa-se que a média do Escorrimento superficial ($Escorrimento_i$, $cm.dia^{-1}$) diário, estimado pela eq. (135), na safra 1998/99 (0,20 cm) foi menor que a respectiva média na safra 2000/01 (0,24 cm), indicando a menor estimativa do influxo de água no solo e, conseqüentemente, explicando a menor disponibilidade estimada de água para a cultura.

O Escorrimento superficial diário estimado pelo modelo de cultura é função da Capacidade de Armazenamento de Água na Superfície (CAAS, cm), expressa pela eq. (136) e considerada igual para todos os locais e safras, e da taxa de Infiltração diária ($Infiltracao_i$, $cm.dia^{-1}$), a qual depende da força mátrica e da força de adsorção. Portanto, é possível inferir que o modelo de cultura proposto no tópico 3.3 apresenta limitações quanto à estimativa da taxa de Infiltração diária de água no solo. Considerando as afirmações de Veereken, Maes, Feyen e Darius (1976) sobre as implicações da força mátrica e da força de adsorção para a taxa de Infiltração diária de água no solo pode-se inferir que os parâmetros apresentados na Tabela 6 não são adequados para o solo considerado em Manduri.

Em Guaíra, as safras 1999/00 e 2000/01 foram contrastantes, pois o modelo de cultura estimou rendimento compatível com o esperado na safra 1999/00 e menor que o rendimento medido na safra 2000/01 (Figura 31).

Durante a safra 1999/00 em Guaíra, o potencial médio de água no solo (5.394 cm), estimado durante o período compreendido entre a semeadura e a maturidade fisiológica estimada das plantas (118 dias) foi menor que a respectiva média (7.254 cm) estimada durante o ciclo da cultura na safra 2000/01 (120 dias), indicando a maior disponibilidade de água para a cultura na safra 1999/00. Observa-se que esses potenciais de água no solo são coerentes com a média dos coeficientes hídricos estimados para as safras 1999/00 (0,63) e 2000/01 (0,29), com as médias diárias das precipitações pluviais, 0,93 cm durante a safra 1999/00 e 0,54 cm durante a safra 2000/01, e com as médias diárias das Evapotranspirações de referência, 1,11 cm durante a safra 1999/00 e 1,13 cm durante a safra 2000/01, indicando que a estimativa da dinâmica de água no sistema agrícola realizada pelo modelo de cultura foi coerente com o esperado.

Quando examinada a distribuição temporal das precipitações pluviais, verifica-se que, durante a safra 1999/00, o maior período de estiagem foi nos 11 dias após a semeadura, quando o potencial de água no solo foi da ordem de 11.000 cm, portanto próximo ao ponto de murcha permanente. Nessa safra ocorreu apenas mais um período de precipitações pluviais nulas com duração maior que cinco dias, entre os dias 63 e 74 após a semeadura, o qual coincidiu com o período de florescimento, portanto crítico para a produção fotossintética da planta; o menor potencial de água no solo estimado nesse período foi 6768 cm, não comprometendo significativamente a produção fotossintética da planta (ANDRADE; UHART; ARGUISSAIN, 1991; VEIRA JUNIOR, 1999; VIEIRA JUNIOR et al, 2004b). Já durante a safra 2000/01 ocorreram sucessivos períodos de ausência de precipitação pluvial com duração maior que cinco dias, entre o 20º e 26º dias após a semeadura, entre o 44º e 55º dias após a semeadura (DAS), entre o 76º e 86º DAS e entre o 105º e 111º DAS (ANDRADE; UHART; ARGUISSAIN, 1991; VEIRA JUNIOR, 1999; VIEIRA JUNIOR et al, 2004b).

A partir do exposto sobre a estimativa da dinâmica de água no sistema agrícola pelo modelo de cultura em Guaíra, pode-se concluir que o modelo de culturas estimou adequadamente o período de deficiência hídrica e de recuperação na safra 1998/99, mas, não foi suficiente para estimar a recuperação dos períodos de deficiência hídrica na safra 1998/99. Tal afirmação fica evidenciada pelos potenciais de água no solo que chegaram ao ponto de murcha permanente,

15.000 cm, entre o 48º a 58º dias após a semeadura (DAS), ou seja, após ocorrer precipitação pluvial de dois e três centímetros de água; entre o 56º e 57º (DAS), respectivamente, o modelo de cultura continuou estimando potencial de água no solo de 15.000 cm por dois dias. Considerando os comentários sobre a taxa de taxa de Infiltração diária em Manduri, é possível que essa também seja a causa do erro verificado na estimativa do rendimento de grãos de milho em Guaíra.

Quanto às previsões do rendimento de grãos de milho realizadas pelo modelo de cultura com base nos parâmetros climáticos, verifica-se que, a não ser em Manduri, todos os rendimentos médios previstos são maiores que os respectivos rendimentos estimados pelo modelo de cultura com base nos parâmetros climáticos medidos e, conseqüentemente, que os rendimentos máximos medidos (Figura 29). Observa-se também que, à exceção de Manduri, as diferenças relativas máximas e mínimas também foram maiores que as estimadas (Figura 30). Esses resultados indicam que o modelo de cultura, quando utiliza os parâmetros climáticos previstos pelo modelo Eta, tende a superestimar o rendimento de grãos de milho.

A partir dos comentários no tópico 1.2.3 de que, exceto por Manduri, o modelo Eta prevê precipitações pluviais menores, ainda que melhor distribuídas temporalmente, além de temperaturas mínimas maiores, os rendimentos de grãos de milho previstos são coerentes com a premissa de que as previsões do modelo Eta tendem a minimizar possíveis efeitos de *deficit* hídrico e a superestimar a produção fotossintética pela maior temperatura mínima. Quanto ao possível efeito, discutido no tópico 1.2.3, da previsão de rendimentos menores decorrentes de maior respiração noturna, ocasionada pelas temperaturas mínimas maiores, verificou-se que, se houve este efeito, foi superado pelas conseqüências positivas da melhor distribuição temporal da precipitação pluvial e da maior produção fotossintética decorrente das temperaturas mínimas previstas maiores que as respectivas temperaturas medidas, pois em todas as safras em Cravinhos, Guaíra, Limeira e Piracicaba as diferenças entre os rendimentos estimados e os previstos foram positivas (Tabela 27).

Acerca das diferenças entre os rendimentos estimados e as respectivas previsões, observa-se que os valores positivos mais discrepantes ocorreram em Limeira e Piracicaba, inferindo-se que os comentários tecidos no tópico 4.2.3 sobre os efeitos na previsão do rendimento de grãos de milho decorrentes das maiores precipitações pluviais previstas com 30 e 60 dias de antecedência nesses locais eram pertinentes.

Apesar dos erros nas previsões do rendimento de grãos de milho decorrentes da interação entre os erros do modelo de culturas e, principalmente, os erros na previsão dos parâmetros climáticos pelo modelo Eta, pode-se deduzir a possibilidade de aplicação da metodologia proposta em Cravinhos, Limeira, Piracicaba e, até em Guaíra, pois as previsões de rendimento maiores que os rendimentos máximos medidos são sistemáticas e coerentes com o esperado (Tabela 27). Assim, é possível estabelecer coeficientes de correção para as previsões do modelo Eta, ou nas previsões do modelo de cultura; a questão crucial é desenvolver estudos com o propósito de mitigar as causas desses erros e/ou quantificá-los.

Com relação a Manduri, observa-se que a interação entre os erros associados ao modelo de culturas, discutidas nesse tópico, e os erros associados ao modelo Eta comprometeram significativamente a previsão do rendimento de grãos de milho, pois, enquanto na safra 1998/99 a estimativa e a previsão do rendimento de grãos de milho foram coerentes com o esperado, nas produções seguintes as previsões do rendimento de grãos de milho foram todas muito subestimadas e incompatíveis com a realidade (Figura 32). A exacerbação na previsão de rendimentos de grãos muito aquém do esperado e incompatível com a realidade é conseqüência da interação entre a tendência do modelo Eta de prever precipitações pluviais menores que as medidas, conforme comentado no tópico 4.2.3, e a subestimativa da taxa de Infiltração diária pelo modelo de cultura.

Considerando o exposto sobre a estimativa e o rendimento de grãos de milho em Manduri e Guaíra, observa-se que são locais com características próprias de oferta ambiental. Em Manduri há limitações tanto com relação à previsão de clima pelo modelo Eta quanto à estimativa do modelo de cultura, em razão de sua estimativa da taxa de infiltração diária, enquanto em Guaíra a limitação está relacionada apenas à estimativa da taxa de infiltração diária pelo modelo de cultura. Essas características próprias podem não se repetir em outros locais da região Centro-Sul do Brasil, portanto os resultados negativos podem não ter maior implicação para a Previsão de Safras. Porém, estudos mais detalhados sobre o modelo Eta e o modelo de cultura para esses locais podem contribuir significativamente para o aprimoramento da metodologia proposta, notadamente levando-se em conta que ambos os locais apresentam valores semelhantes de teores de areia, silte e carbono no solo (INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, 1997).

4.3.4 Minas Gerais

Em Minas Gerais, à exceção de Janaúba e Uberlândia, as estimativas do rendimento de grãos de milho foram adequadas, pois na média das safras consideradas para cada local o rendimento estimado foi entre 10,1%, em Capinópolis, a 20,1%, em Paracatu, maior que o rendimento máximo medido (Figura 29). Os resultados estão de acordo com a premissa deduzida dos trabalhos de Affholder (1997), Assis (2004), Boote, Jones e Pickering (1996), Brunini et al. (1982), Costa (1997), Duarte e Paterniani (2000), Figueredo Júnior (2004) e Rodrigues e Assad (1997) de que os rendimentos estimados pelo modelo de cultura devem ser até 30% maiores que os respectivos rendimentos medidos.

As diferenças máximas e mínimas entre os rendimentos estimados e os respectivos rendimentos máximos medidos (Figura 30) corroboram o fato de que em Capinópolis, Patos de Minas e Sete Lagoas o modelo de cultura estimou adequadamente o rendimento de grãos de milho, enquanto em Viçosa as diferenças mínimas indicam alguma tendência do modelo de estimar rendimentos menores que os máximos medidos. Em Lavras e, principalmente, em Paracatu, as diferenças máximas indicam a tendência de estimar rendimentos maiores que os máximos medidos; porém, em ambos os locais, essas diferenças não indicam a imprecisão do modelo de culturas como nos casos Janaúba e Uberlândia.

Considerando o exposto sobre os rendimentos de grãos estimados nos locais de Minas Gerais, é possível deduzir a precisão do modelo de culturas em Capinópolis, Patos de Minas e Sete Lagoas, com destaque para Patos de Minas, onde as diferenças entre rendimentos estimados e os rendimentos máximos medidos nas safras consideradas apresentou a menor amplitude, indicando a estabilidade das estimativas do modelo de culturas nesse local (Figura 31).

Com relação aos rendimentos estimados em Paracatu, observa-se amplitude significativa das diferenças relativas entre os rendimentos estimados e os rendimentos máximos medidos (Figura 31), pois, se na safra 1997/98 o rendimento estimado foi 35,8% maior que o rendimento máximo medido, portanto, extrapolando a margem de 20% tida como aceitável. Já na safra 2000/01 o rendimento estimado foi apenas 4,5% superior ao rendimento máximo medido. Esses resultados sugerem a inexatidão do modelo de cultura em Paracatu; entretanto, analisando-se os resultados do coeficiente hídrico, da precipitação pluvial, do potencial de água no solo e das temperaturas máximas e mínimas, observa-se coerência entre as estimativas do modelo de cultura e as variações diárias nos parâmetros climáticos medidos.

Uma hipótese a ser considerada é que o Ensaio Nacional de Milho em Paracatu na safra 1997/98 possa ter sofrido estresse, implicando rendimento medido aquém do rendimento potencial para a oferta ambiental vigente. Examinado-se os rendimentos medidos em Paracatu e em Lavras nas safras 1997/98 e 2000/01, observa-se coerência entre as variações dos rendimentos medidos médio (RM_{Med}, $kg.ha^{-1}$) e mínimo (RM_{Min}, $kg.ha^{-1}$), entre os locais nas duas safras e entre os rendimentos medidos máximos (RM_{Max}, $kg.ha^{-1}$) na safra 2000/01, cerca de 10.000 $kg.ha^{-1}$ (Tabela 12). Todavia, o rendimento medido máximo em Paracatu na safra 1997/98 foi 29,3% menor que o rendimento medido máximo em Lavras, o que corrobora a hipótese de que a diferença relativa entre o rendimento estimado pelo modelo de cultura e o rendimento máximo medido em Paracatu na safra 1997/98 é devida ao comprometimento do Ensaio Nacional de Milho, e não à estimativa do modelo de cultura.

Em Lavras, o rendimento estimado na safra 1998/99, superior em 30,6% ao respectivo rendimento máximo medido, não pode ser atribuído a estimativas incoerentes da dinâmica de água no sistema agrícola ou à temperatura. Como em Lavras não se dispunha de medidas de radiação, esse resultado pode ser atribuído à maior estimativa da radiação incidente. A radiação média entre a semeadura e a maturidade fisiológica estimada da planta (140 dias) na safra 1998/99 foi (2.077 $W.m^{-2}$) maior que a radiação média estimada no ciclo estimado da cultura (139 dias) para a na safra 1997/98 (2.030 $W.m^{-2}$). Observa-se que a safra 1998/99 apresentou 52 dias sem precipitação pluvial; já a safra 1997/98 apresentou 65 dias sem precipitação pluvial, o seja, a princípio, a radiação deveria ser maior na safra 1997/98.

Em Uberlândia a média e a mediana das diferenças relativas entre os rendimentos de grãos estimados pelo modelo de cultura e os respectivos rendimentos máximos medidos, consideradas superestimadas, se devem às diferenças relativas nas safras 2000/01 e 2001/02 (Figura 31). Analisando-se a dinâmica de água medida no sistema, observa-se que na safra 2001/02, possivelmente a cultura esteve submetida a estresse hídrico entre o 35º e o 49º dias após a semeadura (DAS) e entre o 94º e o 109º (DAS), pois nesses períodos a precipitação pluvial foi nula e a evapotranspiração de referência diária, em média, foi de 1,1 cm. Porém, no primeiro período de estresse hídrico a umidade diária no solo estimada pelo modelo de cultura foi, em média, de 0,27 $cm^3.cm^{-3}$ e no segundo período foi, em média, de 0,33 $cm^3.cm^{-3}$, portanto intermediárias entre a umidade de saturação estimada (0,46 $cm^3.cm^{-3}$) e a umidade residual

estimada (0,12 $cm^3.cm^{-3}$), não implicando a estimativa do estresse que esses períodos representaram ao rendimento medido.

A hipótese é corroborada pelos resultados obtidos em Janaúba, local onde o rendimento de grãos de milho estimado pelo modelo de cultura foi 74,2% maior que o rendimento máximo medido (Figura 31). Em Janaúba o Ensaio Nacional de Milho foi submetido a dois períodos prolongados de ausência de precipitação pluvial e evapotranspiração de referência próxima a 1,5 cm por dia, entre os dias 28 e 40 após a semeadura e entre o 50º e 63º DAS. Porém, no primeiro e no segundo períodos as menores umidades no solo, ocorridas no 40º e 64º DAS, respectivamente, foram de 0,36 e 0,30 $cm^3.cm^{-3}$, valores intermediários entre a umidade residual estimada pelo modelo de cultura (0,21 $cm^3.cm^{-3}$) e a umidade de saturação (0,59 $cm^3.cm^{-3}$), não afetando o coeficiente hídrico significativamente, pois nesses períodos o menor coeficiente hídrico foi 0,23.

Em Viçosa o modelo de cultura tendeu a subestimar o rendimento de grãos de milho na safra 2000/01, enquanto nas demais safras consideradas as estimativas de rendimento foram consideradas adequadas (Figura 31). Observa-se que na safra 2000/01, em Viçosa, ocorreram seis períodos com ausência de precipitação pluvial maior que cinco dias, seguidos por um ou dois dias com precipitação pluvial total menor que 1,1 centímetros e novos períodos de ausência de precipitação pluvial. O exemplo marcante foi entre o 46º e o 68º DAS, quando ocorreram duas precipitações pluviais no 51º e 62º DAS de 0,5 e 0,9 centímetros, respectivamente. Entretanto, observa-se que a umidade do solo sofreu pequena variação, implicando que o potencial de água no solo, determinante na estimativa da Transpiração diária pelo modelo de cultura, variou de 1.398 centímetros para 1.379 centímetros entre o 51º e o 52º DAS, passando para 1.491 no 53º DAS, e de 4.610 centímetros para 4.522 centímetros entre o 62º e o 63º dia DAS, passando para 4.920 centímetros no 64º dia após a semeadura. Ou seja, de modo semelhante a Janaúba e Uberlândia, houve tendência do modelo de cultura de minimizar as variações entre os dias da umidade do solo. Neste caso, assim como Guaíra, em São Paulo, a minimização das variações implicou subestimar pouco o rendimento de grãos de milho.

Quanto às previsões do rendimento de grãos de milho em Minas Gerais, observa-se que, em todos os locais examinados, o uso das previsões de parâmetros climáticos propiciou rendimentos maiores que os respectivos rendimentos estimados (Figura 29). Os resultados em Capinópolis, Lavras, Paracatu, Patos de Minas e Sete Lagoas estão em conformidade com as hipóteses (tópico 4.2.4) de que as precipitações pluviais previstas maiores e melhor distribuídas

no tempo contribuiriam para previsões do rendimento de grãos maiores que as respectivas estimativas e, conseqüentemente, que os respectivos rendimentos máximos medidos. Porém, os rendimentos previstos em Janaúba e Uberlândia contrariam as suposições (tópico 4.2.4) de que as precipitações pluviais previstas menores contribuiriam para previsões do rendimento de grãos também menores que as respectivas estimativas.

Observando-se as diferenças relativas máximas e mínimas entre os rendimentos previstos pelo modelo de cultura utilizando os parâmetros climáticos gerados pelo modelo Eta com os respectivos rendimentos máximos medidos (Figura 30), verifica-se que apenas em Patos de Minas as diferenças relativas foram aceitáveis; portanto, é possível a previsão do rendimento de grãos de milho. Em Capinópolis e Sete Lagoas, locais onde as médias da diferenças relativas entre os rendimentos previstos pelo modelo de cultura utilizando os parâmetros climáticos gerados pelo modelo Eta com os respectivos rendimentos máximos medidos foi aceitável, as diferenças relativas máximas e mínimas comprometem a previsão do rendimento de grãos de milho, especialmente em Capinópolis, onde a diferença relativa mínima foi de 0,97 (Figura 32)

No caso de Capinópolis, o aumento da amplitude entre as diferenças relativas máximas e mínimas previstas em relação às diferenças relativas máximas e mínimas estimadas foi devido ao menor rendimento de grãos de milho previsto na safra 1997/98 e ao maior rendimento de grãos previsto na safra 2000/01, quando comprados aos respectivos rendimentos estimados.

Considerando que os rendimentos estimados nas safras 1997/98 e 2000/01 em Capinópolis já apresentaram a menor e a maior diferença com os respectivos rendimentos máximos medidos, é possível inferir que a utilização de parâmetros climáticos gerados pelo modelo Eta exacerbou os erros inerentes ao modelo de culturas.

Recorrendo-se aos comentários do tópico 4.2.4 sobre a previsão de parâmetros climáticos pelo modelo Eta, observa-se que as temperaturas previstas não diferiram significativamente das respectivas temperaturas medidas; porém, as precipitações pluviais previstas foram maiores e melhor distribuídas no tempo que as respectivas precipitações pluviais medidas, supondo-se assim que os rendimentos previstos deveriam ser maiores que os respectivos rendimentos estimados. Essa hipótese harmoniza-se com os rendimentos previstos nas safras 1998/99, 1999/00 e 2000/01; entretanto, não é coerente com os rendimentos previstos na safra 1997/98 (Figura 32). Recorrendo-se às medidas e previsões de precipitação pluvial durante o ciclo estimado pelo modelo de cultura para a safra 1997/98 em Capinópolis, entre os dias 24 de Novembro de 1997 e

13 de Março de 1998, observa-se que as médias diárias das previsões de precipitação pluvial com 30 (0,78 cm), 60 (0,63 cm) e 90 (0,80 cm) dias de antecedência foram menores que a média das precipitações pluviais medidas nesse período (0,86 cm). Portanto, no caso, a tendência do modelo Eta de reduzir as variações das precipitações pluviais diárias contribuiu para prever menor precipitação pluvial e, conseqüentemente, menor rendimento de grãos. Há que se considerar que a diferença entre o rendimento estimado e o rendimento medido (Tabela 27) não foi significativa, porém o resultado é indicativo de que as interações entre as previsões do clima geradas pelo modelo Eta e as estimativa do modelo de cultura são complexas, carecendo de estudos detalhados anteriores a qualquer conclusão.

Em Janaúba a hipótese da previsão dos parâmetros climáticos gerados pelo modelo Eta sobre as previsões do rendimento de grãos de milho, comentada no tópico 4.2.4, era de que as menores precipitações pluviais previstas pelo modelo Eta reduziriam os rendimentos de grãos de milho previstos em relação aos respectivos rendimentos estimados; contudo, a diferença entre os rendimentos estimados e o rendimento previsto foi mínima. As médias diárias das precipitações pluviais medidas entre os dias 6 de Dezembro de 2000 e 26 de Março de 2001 (0,36 cm), ciclo estimado pelo modelo de cultura, e as respectivas médias diárias das previsões com 30 (0,30 cm), 60 (0,15 cm), 90 (0,18 cm) e 120 (0,11 cm) dias de antecedência, indicam que a hipótese da precipitação pluvial prevista ser menor que a medida foi confirmada; porém, observando-se as variações na umidade do solo e do coeficiente hídrico, ambas estimadas pelo modelo de cultura, pode-se inferir que a tendência do modelo de cultura de minimizar as variações entre os dias da dinâmica de água no solo, no caso, também contribuíram para a previsão do rendimento de grãos muito superestimada.

Em Lavras, Paracatu e Viçosa, foi confirmada a hipótese comentada no tópico 4.2.4 de que as previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta maiores que as respectivas precipitações pluviais medidas contribuiriam para que as previsões do rendimento de grãos de milho pelo modelo de cultura fossem maiores que as respectivas estimativas do rendimento de grãos de milho, conforme pode ser observado na Tabela 27. Neste caso, deve-se se considerar que as previsões de rendimento de grãos de milho, exceção feita para a safra 2000/01 em ambos os locais, foi considerada muito superestimada, o que, a princípio, pode comprometer a aplicação da metodologia proposta. Os rendimentos previstos em Lavras, Paracatu e Viçosa, todos maiores que os estimados, indicam a coerência entre as estimativas e as previsões geradas pelo modelo de

cultura, o que possibilita a inferência de que a principal causa dos erros advém dos parâmetros climáticos gerados pelo modelo Eta. Portanto, estudos detalhados sobre as previsões do modelo Eta podem ser suficientes para a aplicação da metodologia proposta na previsão do rendimento de grãos de milho nesses locais.

Quanto à previsão do rendimento de grãos de milho pelo modelo de cultura em Uberlândia, observa-se que os rendimentos previstos nas safras consideradas (Figura 32) não foram coerentes com a hipótese estabelecida no tópico 1.2.4, a de que a utilização de parâmetros climáticos gerados pelo modelo Eta contribuiria para a previsão de rendimentos de grãos menores que os respectivos rendimentos estimados. Analisando-se as precipitações pluviais medidas e as precipitações pluviais previstas nos períodos entre as semeaduras e as maturidades fisiológicas das plantas, observa-se que em todas as safras e todos os períodos de antecedência da previsão as precipitações pluviais previstas foram menores; portanto, há coerência com a referida hipótese. Porém, analisando-se a dinâmica estimada de água no sistema, notadamente na fase solo, observa-se que o modelo de cultura não estimou adequadamente os estresses hídricos; assim, deduziu-se que o modelo de cultura tende a minimizar a amplitude das variações entre os dias, em especial quanto aos estresses hídricos. Esse efeito, associado à previsão das precipitações melhor distribuídas temporalmente pelo modelo Eta, contribuem para previsões no rendimento de grãos de milho maiores que os respectivos rendimentos máximos medidos.

De modo geral o modelo de culturas estimou adequadamente os rendimentos de milho em Minas Gerais, à exceção de Janaúba, Uberlândia e Viçosa, locais em que as estimativas da dinâmica de água no solo geradas pelo modelo de cultura não foram adequadas para a previsão de períodos de *deficit* hídrico, inferindo-se a limitação do modelo de cultura na estimativa adequada da Transpiração diária. Assim, são recomendados estudos mais amplos no sentido de implementar no modelo a estimativa do controle estomatal, semelhante à discussão estabelecida no tópico 4.3.1 sobre condutância estomática e temperatura.

Os erros inerentes ao modelo de cultura foram exacerbados na previsão do rendimento de grãos de milho pelos erros inerentes ao modelo Eta de melhor distribuição temporal da precipitação pluvial. Assim, para a previsão de safras em Minas Gerais devem ser desenvolvidos estudos no sentido de melhorar as previsões do modelo Eta e as estimativas de transpiração do modelo de cultura.

4.3.5 Goiás

Em Goiás, de modo geral, as estimativas de rendimento realizadas pelo modelo de cultura proposto utilizando os valores medidos dos parâmetros climáticos necessários foram precisas para quase todos os locais considerados (Figura 29). A exceção foi Itumbiara, onde a média (33,8%) e a mediana (32,3%) das diferenças relativas entre os rendimentos de grãos de estimados pelo modelo de cultura utilizando os valores medidos dos parâmetros climáticos necessários com os respectivos rendimentos máximos medidos foram maiores do que as diferenças consideradas aceitáveis (30%) segundo os trabalhos de Affholder (1997), Assis (2004), Boote, Jones e Pickering (1996), Brunini et al. (1982), Costa (1997), Duarte e Paterniani (2000), Figueredo Júnior (2004) e Rodrigues e Assad (1997). Cabe destacar ainda que os rendimentos de grãos estimados em Brasília, em média (9,6%), foram bastante próximos do limite de 10%, tido arbitrariamente como a depleção no rendimento de grãos de milho decorrente de estresses não considerados pelo modelo de cultura proposto, o que indica pela precisão do modelo de cultura para esse local.

Quando analisadas as maiores e menores diferenças relativas entre os rendimentos de grãos estimados e os respectivos rendimentos máximos medidos (Figura 30), observa-se que o modelo de cultura não foi acurado, além de Itumbiara, também em Goianésia, pois a maior diferença relativa em Goianésia, ocorrida na safra 2001/02, foi de 40,1% (Figura 31).

Em Brasília, as diferenças entre os rendimentos estimados e os respectivos rendimentos máximos medidos variaram entre 5,4% na safra 1997/98 a 18,7% na safra 2000/01 (Figura 31), indicando a precisão do modelo de cultura nesse local, além da acurácia inferida pela média das diferenças relativas. Em Goiânia, as diferenças entre os rendimentos estimados e os respectivos rendimentos máximos medidos variaram de 8,6% na safra 1997/98 a 24,9% na safra 2000/01 (Figura 31), também indicando a acurácia do modelo de cultura nesse local, além de sua precisão inferida pela média das diferenças relativas. Caso semelhante ocorreu em Porangatu, onde as diferenças entre os rendimentos estimados e os respectivos rendimentos máximos medidos variaram entre 10,8% na safra 2000/01 e 18,6% na safra 1999/00 (Figura 31). Já em Rio Verde verificou-se a melhor acurácia do modelo de culturas para os locais examinados em Goiás, pois as diferenças entre os rendimentos estimados e os respectivos rendimentos máximos medidos nas safras 1998/99 (15,7%) 1999/00 (15,1%) foram bastante próximas (Figura 31).

Quanto a Goianésia, onde o modelo de cultura não foi considerado acurado em razão do fato de que a diferença entre o rendimento estimado e o respectivo rendimento máximo medido foi superior ao limite arbitrado de 30% na safra 2001/02, observou-se que as estimativas do coeficiente hídrico (kH), da umidade e do potencial de água no solo e do escorrimento superficial eram coerentes com as medidas das precipitações pluviais e as evapotranspirações de referência. Ainda quanto à safra 2001/02 em Goianésia, também não foram observadas estimativas incoerentes do coeficiente hídrico com as temperaturas máximas e mínimas medidas.

Os rendimentos medidos no Ensaio Nacional de Milho em Goianésia na safra 2001/02 (Tabela 12) foram cerca de 30% menores que os rendimentos medidos na safra 1999/00. Vale lembrar ainda que os rendimentos máximos, médios e mínimos medidos em Goianésia na safra 1999/00 foram 11, 18 e 30% menores que os respectivos rendimentos medidos em Goiânia, enquanto os rendimentos máximos, médios e mínimos medidos em Goianésia na safra 2001/02 são 21, 24 e 49% menores que os respectivos rendimentos medidos em Goiânia. Portanto, é possível inferir que os rendimentos medidos em Goianésia na safra 2001/02 sofreram estresse superior ao considerado no arbitramento do limite de 10% entre os rendimentos medidos e os rendimentos estimados. Essa hipótese é corroborada quando se verifica que o regime de precipitação pluvial durante o ciclo estimado da cultura (117 dias) na safra 2001/02 (média diária de 0,88 cm e período máximo com ausência de precipitação pluvial de seis dias) em Goianésia não apresentou diferença significativa do respectivo regime ocorrido no ciclo estimado da cultura (116 dias) na safra 1999/00 (média diária de 0,90 cm e período máximo com ausência de precipitação pluvial de quatro dias), assim como as médias diárias das evapotranspirações de referência, 0,87 $cm.dia^{-1}$ na safra 2001/02 e 0,89 $cm.dia^{-1}$ na safra 1999/00, das temperaturas máximas, 20,9ºC na safra 2001/02 e 20,2ºC na safra 1998/99, e das temperaturas mínimas, 20,7ºC na safra 2001/02 e 20,3ºC na safra 1998/99.

Em Itumbiara, local mais ao sul de Goiás e próximo a Capinópolis, onde a acurácia do modelo de cultura foi adequada, os rendimentos de grãos de milho estimados nas safras 1998/99, 1999/00 e 2000/01 foram tidos como superestimados em relação aos respectivos rendimentos máximos medidos, notadamente na safra 1998/99, enquanto o rendimento estimado na safra 1997/98 foi considerado pouco superestimado (Figura 31).

Comparando-se as médias diárias dos coeficientes hídricos (kH) entre a semeadura e a maturidade fisiológica estimada das plantas, ambas com 111 dias, nas safras 1997/98 (0,74) e

1998/99 (0,66), é possível deduzir que a dinâmica de água no sistema estimada pelo modelo de cultura foi responsável pela maior diferença entre o rendimento estimado e o rendimento máximo medido na safra 1998/99 em relação à safra 1997/98. Considerando que as evapotranspirações de referência nas safras 1997/98 (1,01 $cm.dia^{-1}$) e 1998/99 (1,03 $cm.dia^{-1}$) foram próximas, as diferenças entre as médias das precipitações pluviais diárias nas safras 1997/98 (0,84 cm) e 1998/99 (0,64 cm) justificam o maior rendimento estimado na safra 1997/98 (11.419 $kg.ha^{-1}$) em relação à safra 1998/99 (7.695 $kg.ha^{-1}$), porém indicam que a estimativa da dinâmica de água no sistema realizada pelo modelo de cultura não foi adequada. Quando analisadas as seqüências diárias dos potenciais de água no solo, verifica-se que a média diária do potencial de água no solo durante o ciclo da cultura foi menor na safra 1997/98 (901 cm) que na safra 1998/99 (2215 cm), o que é coerente com a maior precipitação pluvial; contudo, entre o nono e o 16º dias após a semeadura da safra 1998/99 sua estimativa foi próxima do ponto de murcha (10.230 cm).

A partir a exposição sobre os rendimentos estimados em Itumbiara, pode-se concluir que o modelo de cultura apresenta limitações em estimar a dinâmica de água em Itumbiara, contrariando a acurácia verificada para Capinópolis, local próximo a Itumbiara. Quando observados os teores de areia fina, silte e argila nesses locais (Tabela 11), verifica-se que o solo considerado para Itumbiara apresenta maior teor de areia fina, 51,5 e 20,8% para Itumbiara e Capinópolis, respectivamente, e menores teores de silte e argila que os respectivos teores considerados em Capinópolis. Segundo Addiscott (1993), Doorenbos (1994), Dourado Neto (1990) e Radcliffe e Rasmussen (1990) as características do solo de Itumbiara permitem rápido movimento da água, alta condutividade hidráulica, possibilitando assim que, sob alta evaporação, em curto período a umidade aproxime-se do ponto de murcha. Essas observações são coerentes com as estimativas do modelo de cultura, ainda que não seja coerente o fato do coeficiente hídrico manter-se próximo da unidade (0,81) nesse período.

No caso, há que se levar em conta que o coeficiente hídrico (kH) é o quociente entre a Transpiração diária da cultura (TR, $cm.dia^{-1}$), estimada pela eq. (146), e a Transpiração Máxima, estimada pela eq. (143). A Transpiração Máxima é diretamente dependente do Índice de Área Foliar (IAF_i, $m^2.m^{-2}$), mínima nos estádios iniciais da cultura (FANCELLI, 1998); portanto, nos períodos iniciais da cultura o modelo de cultura estima baixos valores de Transpiração Máxima. Já a Transpiração diária da cultura (Tr_i, $cm.dia^{-1}$) é dependente da resistência da parte aérea ($Re_{Aérea_i}$), estimada em função do potencial de água na folha (ψ_{Folha}, cm), considerado 17.000 cm

durante todo o ciclo da cultura. Ou seja, nos estádios iniciais da cultura o modelo não é adequado para estimar estresse hídrico, por não computar a possível variação da condutância estomática.

Dado o exposto sobre o modelo de cultura em Itumbiara, observa-se que esses resultados remetem à discussão do tópico 4.3.1, em que foi sugerida a incorporação ao modelo de cultura do modelo de condutância estomática para folhas de plantas C4 descrito por Colltz, Ribas-Carbo e Berry (1992), que considera, entre outros fatores, as variações no potencial de água na folha.

Quanto à previsão do rendimento de grãos de milho pelo modelo de cultura utilizando-se parâmetros climáticos previstos pelo modelo Eta em Goiás, considerou-se no tópico 4.2.5 que os rendimentos previstos poderiam ser menores que os estimados em função do menor volume diário da precipitação pluvial prevista, notadamente em Porangatu. Destaca-se ainda que, à exceção de Porangatu, as diferenças entre a precipitação pluvial prevista e a respectiva precipitação medida poderiam não comprometer a previsão do modelo de culturas se consideradas as diferenças entre as médias móveis com intervalo de cinco dias.

Observa-se na Figura 29 que os rendimentos previstos pelo modelo de cultura em Goiás, na média das safras, foram maiores que os respectivos rendimentos estimados em todos os locais, o que é coerente com as hipóteses estabelecidas no tópico 4.2.5 em função das previsões de precipitação pluvial melhor distribuídas no tempo. Assim, pode-se deduzir que a menor precipitação pluvial prevista não foi suficiente para comprometer as previsões do modelo de cultura; caso tenha havido algum efeito em subestimar o rendimento de grãos de milho, foi compensado com vantagem pela previsão da melhor distribuição temporal da precipitação pluvial. Porém, os resultados permitem inferir a previsão do rendimento de grãos de milho apenas em Brasília e Rio Verde.

Em Goiânia, a previsão do rendimento de grãos de milho na safra 2000/01 (Figura 32) foi considerada superestimada. Analisando-se as precipitações pluviais medidas e as respectivas precipitações pluviais previstas entre os dias 15 de Novembro de 2001 e 12 de Março de 2001, ciclo estimado da cultura, em Goiânia, observa-se que a média diária da precipitação pluvial medida nos primeiros 30 (0,61 cm), 60 (0,63 cm) e 90 (0,59 cm) dias após a semeadura foi menor que as respectivas médias das precipitações pluviais previstas com 30 (0,65 cm), 60 (0,64 cm) e 90 (0,62 cm) dias de antecedência, sendo maior apenas que a precipitação pluvial prevista com 120 dias de antecedência. Portanto, nos estádios de alta demanda hídrica pela cultura, entre 60 e 100 dias após a semeadura (VIEIRA JUNIOR, 1999), a precipitação pluvial prevista foi maior que

a respectiva precipitação pluvial medida, contribuindo assim para as diferenças entre os rendimentos estimados e os respectivos rendimentos previstos.

Em Goianésia, as médias diárias das previsões de precipitação pluvial com 30 (0,86 e 0,94 cm), 60 (0,62 e 0,77 cm), 90 (1,17 e 0,68 cm) e 120 (1,28 e 0,52 cm) dias de antecedência durante o ciclo estimado da cultura, nas safras 1999/00 e 2001/02, são coerentes com as previsões do modelo de cultura, porém contribuíram para prever rendimentos maiores que os respectivos rendimentos estimados. Na safra 1997/98, quando a diferença entre o rendimento estimado e o rendimento previsto foi significativa (Tabela 27), as precipitações pluviais previstas com 30 e 60 dias de antecedência ficaram próximas das respectivas precipitações pluviais medidas (0,81 e 0,60 cm), ao passo que as previsões de precipitação pluvial com 90 e 120 dias de antecedência, portanto incluindo os estádios reprodutivos da planta em que o requerimento hídrico é elevado (VIEIRA JUNIOR, 1999), foram maiores que as respectivas médias de precipitações pluviais medidas (0,96 e 1,05 cm). Já na safra 2001/02 as precipitações pluviais previstas e as respectivas precipitações pluviais medidas foram próximas, o que implicou pequena diferença entre o rendimento de grãos estimado e o respectivo rendimento previsto (Tabela 27).

Semelhante a Goianésia, em Itumbiara as precipitações pluviais previstas com 30 dias de antecedência foram próximas das respectivas precipitações pluviais medidas; entretanto, as precipitações pluviais previstas com 60 e 90 dias de antecedência foram maiores que as respectivas precipitações pluviais medidas. Considerando a discussão anterior, ainda neste tópico, sobre a estimativa do coeficiente hídrico em Itumbiara, pode-se inferir que as previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta contribuíram para exacerbar o erro inerente ao modelo de cultura.

Em Porangatu, os rendimentos previstos maiores que os respectivos rendimentos estimados contrariam a hipótese do tópico 4.2.5 de que os rendimentos de grãos de milho previstos pelo modelo de cultura, utilizando as precipitações pluviais geradas pelo modelo Eta, seriam menores que os respectivos rendimentos estimados, notadamente nas safras 1999/00 e 2000/01 (Figura 32). Neste caso, observou-se que as precipitações pluviais previstas com 30, 60, 90 e 120 dias de antecedência em ambas as safras não diferiam muito das respectivas precipitações pluviais medidas; porém, as temperaturas máximas previstas pelo modelo Eta foram até 16% menores que as respectivas temperaturas medidas (Tabela 19 a Tabela 22). Considerando o efeito da temperatura sobre a produção de fotoassimilados na planta, em especial da temperatura

durante a noite (ANDRADE, 1992), é possível inferir ser essa a causa das diferenças entre os rendimentos previstos e os respectivos rendimentos estimados, notadamente na safra 2001/02.

Analisando-se as temperaturas máximas entre os dias 08 de Novembro de 2001 e 1° de Março de 2002 (113 dias), período entre a semeadura e a maturidade fisiológica estimada das plantas pelo modelo de cultura, verifica-se que as médias das temperaturas máximas diárias medidas durante 30 (34,3ºC), 60 (34,3ºC), 90 (34,8ºC) e 120 (36,1ºC) dias após a semeadura foram maiores que as respectivas médias previstas pelo modelo Eta com 30 (33,0ºC), 60 (33,3ºC), 90 (34,1ºC) e 120 (35,0ºC) dias de antecedência. Conforme destacado nos tópicos 2.2.2 e 2.2.3, temperaturas maiores que 30ºC comprometem significativamente a produção de fotoassimilados pela planta de milho (DUARTE; PATERNIANI, 2000; LOZARDA; ANGELOCCI, 1999 e STOCKLE; NELSON, 1996).

Uma vez que o limite superior de temperatura para a planta de milho é 35ºC (Tabela 7) e que a média diária da temperatura máxima medida entre 90 e 120 dias após a semeadura foi 36,1ºC, é possível inferir que a cultura esteve submetida a algum estresse térmico no período, o qual implica fechamento dos estômatos e significativa redução na produção de fotoassimilados (LUCCHESI; PERES, 2005; MACHADO, 1985), em estádio fenológico de fundamental importância para o rendimento de grãos (Tabela 1). Ainda, a média das previsões de temperatura máxima geradas pelo modelo Eta para o mesmo período foi menor que as respectivas medidas, inclusive não extrapolando o limite fisiológico superior da planta.

Dados os resultados em Goiás, é possível inferir que, exceto para Itumbiara, o modelo de culturas é acurado, com destaque para Rio Verde e Porangatu. É importante destacar que os rendimentos estimados em Itumbiara provavelmente são decorrentes de erro na estimativa da Transpiração diária. Com relação à previsão do rendimento de grãos de milho, cabe salientar que a metodologia proposta foi acurada para Brasília e Rio Verde. Em Goiânia e Goianésia as previsões de precipitação pluvial do modelo Eta implicaram previsões do rendimento de grãos de milho maiores que os respectivos rendimentos máximos medidos, extrapolando o limite de 30% arbitrado como aceitável, enquanto em Porangatu as previsões de temperatura máxima do modelo Eta resultaram em erros significativos na previsão do rendimento de grãos de milho. Em Itumbiara as previsões de precipitação pluvial gerada pelo modelo Eta contribuíram para exacerbação do erro inerente ao modelo de cultura.

4.3.6 Bahia

Dos 24 locais considerados, Barreiras foi aquele com maior limitação na estimativa do rendimento de grãos de milho pelo modelo de cultura, pois a média e a mediana dos rendimentos estimados nas safras 1998/99, 1999/00 e 2000/01 (Figura 29) foram consideradas muito subestimadas, em razão dos rendimentos estimados nas safras 1999/00 e 2000/01 serem menores que os respectivos rendimentos médios medidos (Tabela 12). Observa-se que na safra 1998/99 o rendimento estimado de grãos de milho pelo modelo de cultura foi 26,9% maior que o respectivo rendimento máximo medido (Tabela 12), podendo ser considerado preciso segundo a classificação arbitrada. Já nas safras 1999/00 (-36,4%) e 2000/01 (-54,2%) os rendimentos estimados foram menores que os respectivos rendimentos medidos (Figura 31) e menores do que os respectivos rendimentos médios medidos.

Comparando-se as estimativas realizadas pelo modelo de cultura durante os ciclos entre a data da semeadura e a maturidade fisiológica das plantas estimada pelo modelo de cultura nas safras 1998/99 (100 dias) e 2000/01 (101 dias), observa-se que a média diária do coeficiente hídrico estimado na safra 1998/99 (0,76) foi maior que a respectiva média estimada na safra 2000/01 (0,49), o que é coerente com as médias diárias das precipitações pluviais medidas durante os referidos ciclos nas safras 1998/99 (0,49 cm) e 2000/01 (0,24 cm). Porém, na safra 2001/02 os menores coeficientes hídricos não foram estimados para os períodos de precipitação pluvial nula como verificado na safra 1999/99, mas para períodos de precipitação pluvial intensa.

Na safra 2001/02 a distribuição da precipitação pluvial diária foi mais irregular, pois, enquanto na safra 1998/99 o período máximo com ausência de precipitação pluvial foi de sete dias, entre o 34º DAS e o 40º DAS e entre o 77º DAS e o 83º DAS, na safra 2001/02 ocorreram vários períodos com ausência de precipitação pluvial maior que os sete dias verificados na safra 1998/99. Os maiores períodos de ausência de precipitação pluvial na safra 2001/02 ocorreram entre o 17º DAS e o 30ºDAS e entre o 37º DAS e o 50ºDAS. O segundo período da safra 2001/02 encerrou com precipitação pluvial intensa (1,48 cm) no 51º DAS, seguido de nova ausência de precipitação pluvial até o 64º DAS, quando a precipitação pluvial medida foi de 1,33 cm. Apesar das precipitações pluviais consideráveis, o Escorrimento superficial estimado foi nulo.

Entre o 51º e o 67º DAS foram estimados os menores coeficientes hídricos diários do período, 0,05 em média, enquanto a umidade diária no solo, em média (0,36 $cm^3.cm^{-3}$), foi próxima da umidade de saturação estimada (0,34 $cm^3.cm^{-3}$), ou seja, o modelo de cultura estimou

um período de estresse por encharcamento. Observa-se que esse estresse por encharcamento estimado pelo modelo de cultura coincidiu com o período de máximo índice de área foliar estimado, portanto exacerbando a redução na estimativa da produção de fotoassimilados.

A partir da exposição sobre a dinâmica de água durante o 51º e o 67º DAS na safra 2000/01 em Barreiras, é possível inferir que o erro inerente ao modelo de cultura é a estimativa do Escorrimento superficial ($Escorrimento_i$, $cm.dia^{-1}$) diário. Recorrendo à discussão sobre o Escorrimento superficial diário estimado pelo modelo de cultura em Manduri (tópico 1.3.3), é possível deduzir que também em Barreiras a limitação inerente ao modelo de cultura é a taxa de Infiltração diária de água no solo; assim, como no caso de Manduri, os parâmetros apresentados na Tabela 6 também não são adequados para o solo considerado em Barreiras.

Acerca da previsão do rendimento de grãos de milho em Barreiras (Figura 32), observa-se que, na safra 1998/99, o rendimento previsto foi menor que o respectivo rendimento estimado (Tabela 27), em conformidade, portanto, com a hipótese aventada no tópico 1.2.6 de que as precipitações pluviais previstas menores que as respectivas precipitações pluviais medidas contribuiriam para que o rendimento de grãos previsto pelo modelo de cultura fosse menor que o respectivo rendimento de grãos estimado. Entretanto, nas safras 1999/00 e 2000/01, os rendimentos de grãos previstos pelo modelo de culturas foram maiores que os respectivos rendimentos estimados. Observa-se que a limitação do modelo de culturas para a estimativa do rendimento de grãos de milho em Barreiras está relacionada à estimativa da taxa de Infiltração diária de água no solo, implicando uma estimativa errônea de estresse por encharcamento. Comparando-se o desvio diário em relação à média da precipitação pluvial medida em Barreiras nos 30 (14,8 cm), 60 (11,4 cm), 90 (8,5 cm) e 120 (5,8 cm) dias após a semeadura da safra 1998/99 aos respectivos desvios das precipitações pluviais previstas com 30 (9,49 cm), 60 (6,8 cm), 90 (7,7 cm) e 120 (4,2 cm) dias de antecedência, pode-se inferir a melhor distribuição das precipitações pluviais previstas, minimizando o erro do modelo de cultura.

Em Barreiras a precisão do modelo Eta e a acurácia do modelo de cultura são precárias. As previsões geradas pelo modelo Eta tendem a minimizar o erro inerente ao modelo de cultura pela melhor distribuição temporal da precipitação pluvial prevista, o que corrobora a hipótese de que o erro do modelo de cultura seja devido à estimativa da taxa de Infiltração diária de água no solo; fica impossibilitada a sua aplicação na previsão do rendimento de grãos de milho, pois o erro entre o rendimento previsto e o rendimento máximo medido não é sistemático.

Tabela 27 – Diferenças entre as diferenças relativas previstas pelo modelo de cultura e as respectivas diferenças relativas estimadas em 24 locais da região Centro-Sul do Brasil durante as safras 1997/98 a 2001/02

Local	**Safra 1997_98**	**Safra 1998_99**	**Safra 1999_00**	**Safra 2000_01**	**Safra 2001_02**
Barreiras	-	-0,47	0,35	0,98	-
Brasília	-	0,03	0,02	0,04	0,02
Goianésia	-	-	0,15	-	0,01
Goiânia	-	0,05	0,01	0,21	0,00
Itumbiara	0,02	0,38	0,23	0,13	-
Porangatu	-		0,24	0,24	0,11
Rio Verde	-	-0,01	-0,08	-	-
Campo Grande	-	0,22	-	-	0,06
Capinópolis	-0,10	0,08	0,14	0,32	-
Janaúba	-	-	-	0,00	-
Lavras	0,51	0,31	0,37	0,15	-
Paracatu	0,26	-	-	0,06	-
Patos de Minas	-	0,07	0,14	0,18	0,04
Sete Lagoas	-	0,12	0,16	0,15	0,08
Uberlândia	-	0,19	0,18	0,11	0,10
Viçosa	-	0,48	0,74	0,21	0,39
Cravinhos	0,09	0,22	0,17	-	-
Guaíra	-	0,05	0,21	0,59	0,07
Limeira	-	0,28	0,53	0,41	0,16
Manduri	-	0,14	-0,91	-0,58	-0,86
Piracicaba	0,12	0,29	0,38	0,09	-
Cascavel	0,32	0,18	0,60	-	0,40
Londrina	-	0,48	-	0,23	0,72
Palotina	-	-	-	0,10	-

4.4 Considerações finais

Os objetivos deste trabalho podem ser resumidos no estabelecimento de uma metodologia para a previsão de parâmetros climáticos e sua aplicação na estimativa do rendimento de grãos de milho pelo emprego de um modelo fisiológico, o que pode ser referido pela expressão Previsão de Safra.

Vários autores, a exemplo de Affholder, Rodrigues e Assad (1997) e Dourado Neto (1999), destacam a importância da Previsão de Safras, tanto sob a ênfase econômica quanto social. Isso justifica o fato de que o tema é tratado como objeto de política de interesse nacional, e não de tecnologia em benefício exclusivo do produtor rural, uma vez que tanto a frustração quanto o excesso de produção agrícola têm efeitos sobre a economia e conseqüências sociais, afetando o país como um todo, especialmente numa nação como o Brasil, em que o setor agrícola desempenha papel importantíssimo na geração de renda e de emprego.

As dificuldades para a execução de trabalhos de pesquisa relacionadas à Previsão de Safras citadas por Assis (2004) e Figueredo Júnior (2004) foram efetivamente confirmadas na feitura desta tese, principalmente quanto à obtenção de dados sistematizados de parâmetros climáticos. Assim, a despeito dos importantes avanços realizados no Brasil como a implementação de sistemas estaduais de meteorologia, a primeira conclusão a que se chega aqui, e que pode ser traduzida como sugestão de política pública, é a necessidade e urgência da sistematização e disponibilização para grupos de pesquisa de informações climáticas e agrícolas no Brasil. Ainda considerando a relevância do tema Previsão de Safras para o país, recomenda-se a orientação de ações relativas ao tema por um grupo interdisciplinar. Sugere-se que esse grupo, composto por representantes da sociedade científica, do setor público e do setor privado, tenha função eminentemente consultiva atuando como agente de integração entre as diversas instituições internacionais e brasileiras ligadas ao setor agrícola e ao estudo do clima.

As considerações finais serão apresentadas nos tópicos 4.4.1 a 4.4.3, a seguir, segundo: i) *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) na região Centro-Sul do Brasil; ii) parâmetros climáticos previstos pelo modelo Eta; e iii) estimativa e previsão e rendimento de grãos de milho.

4.4.1 *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) na região Centro-Sul do Brasil

Antes de qualquer conclusão sobre os efeitos do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) na climatologia da região Centro-Sul do Brasil, é importante relembrar que, a despeito de alguns comentários sobre aspectos climatológicos discutidos ao longo do texto, o objetivo principal era caracterizar os climas locais e, conseqüentemente, estabelecer padrões regionais para a previsão de alguns parâmetros climáticos, empregando-se métodos estatísticos baseados no valor p e nas fazes ENSO, conforme proposto por Maia et al. (2006) e Maia, Meinke e Lennox (2005).

Neste estudo observou-se que a região Sul do Brasil, aqui representada pelo estado do Paraná, apresenta boa relação do regime de chuvas com o evento *El Niño* durante o inverno e a primavera, inferindo-se o aumento na precipitação pluvial na sua ocorrência.

De modo geral, é possível aplicar métodos estatísticos, conforme proposto, para a previsão de parâmetros climáticos nessa região, especialmente quanto a previsão da precipitação pluvial, considerando eventos *El Niño*. Contudo, deve ser aventada a possibilidade de resultados contraditórios, a exemplo de Palotina, local em que os resultados sugerem a interação com condições locais, mitigando os efeitos de *El Niño*. Já quanto ao evento *La Niña*, os locais da região Sul analisados não apresentaram relação significativa em qualquer época do ano; portanto, é possível concluir o prejuízo da previsão climática quando da ocorrência de eventos *La Niña* na região Sul do país.

Quanto aos resultados obtidos na região Sudeste, aqui representada por municípios dos Estados de São Paulo e Minas Gerais, observa-se a maior diversidade nas interações do clima regional com o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO). O fato é conseqüência da caracterização da região com zona de transição entre os climas temperado e tropical, situação bem caracterizada pelo termo “correntes perturbadas”, empregado por Nimer (1989).

Na região Sudeste, de modo geral, em latitudes maiores que 23ºS, as interações do clima com o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) são semelhantes às da região Sul, o que fica evidenciado pela análise de Manduri. Já em Latitude menores que 23ºS, as interações entre o ENSO e os climas locais são complexas e bastante dependentes da circulação geral na atmosfera, com destaque para a Zona de Convergência do Atlântico Sul, além de questões do relevo local, conforme sugerido para Lavras e Viçosa. Assim, a previsão de parâmetros climáticos segundo as fases do ENSO, aplicando-se as técnicas estatísticas propostas, valor p e teste de medianas, fica prejudicada, pois há que se considerar, além de uma previsão local, a contribuição da Zona de

Convergência do Atlântico Sul, fenômeno que ainda carece de maiores estudos e remete à compreensão da circulação geral na atmosfera.

A região Centro-Oeste do Brasil, aqui representada pelos Estados de Goiás e Mato Grosso do Sul, apresenta efeito consistente do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) sobre a sua precipitação pluvial.

No caso de Goiás, ficou patente o efeito do evento *El Niño* no aumento da precipitação pluvial em Janeiro, observação que, apesar da carência de estudos para essa região, conforme apontado por Grimm (2003), apresenta coerência com a circulação geral da atmosfera, destacando-se os efeitos da Zona de Convergência do Atlântico Sul, sendo possível concluir o aumento da precipitação pluvial em eventos *El Niño* no mês de Janeiro e sua redução nos meses de verão subseqüentes. Porém, deve ser levada em conta a possibilidade de efeitos locais, como no caso de Itumbiara.

Campo Grande, apesar de estar contido na região Centro-Oeste, apresenta uma condição peculiar, em especial nos período de inverno e de primavera, quando há semelhança com os efeitos do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) observados na região Sul do país, ou seja, aumento da precipitação pluvial durante eventos *El Niño*. Destaca-se que o local pode sofrer efeitos pronunciados da Zona de Convergência do Atlântico Sul, implicando efeitos mais significativos durante eventos *La Niña* do que os observados na região Sul do país, porém, essa hipótese carece de maiores estudos.

No caso de Barreiras, situada ao Nordeste do país, fica patente a influência do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul sobre o regime de chuvas do verão, fato esperado para aquela região. Porém, verificou-se efeito consistente apenas para o evento *La Niña*, o qual, contrariando o esperado, está associado à redução na precipitação pluvial. Esse resultado também pode ser explicado, com alguma coerência, pela afirmação de Grimm (2003) sobre os efeitos do *El Niño* na Zona de Convergência do Atlântico Sul e a alteração na circulação geral da atmosfera; contudo, como não se dispõem de estudos mais conclusivos, recomenda-se a realização de mais pesquisas sobre a questão.

De modo geral, as relações do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) sobre o regime de chuvas da região Centro-Sul do Brasil carecem de maiores estudos para sua perfeita compreensão, especialmente de estudos ligados à Zona de Convergência do Atlântico Sul e da Corrente de Jato Subtropical, o que remete a trabalhos sobre a circulação geral na atmosfera, inviabilizando sua

aplicação para a previsão de clima com base em métodos estatísticos baseados na mediana e seus desvios segundo os eventos ENSO. Assim, concomitante a estudos semelhantes ao proposto nesta tese, fica a sugestão para a intensificação de pesquisas sobre a circulação geral da atmosfera, o que possibilitará a aplicação de modelos numéricos.

Deve-se apontar ainda que a Previsão de Safras requer a previsão de parâmetros climáticos diários, o que implica um banco de dados com séries de, no mínimo, 40 anos, adequadamente sistematizados, fato improvável de ocorrer no Brasil a menos que sejam tomadas providências imediatas nesse sentido.

Assim, pode-se concluir que é impossível a aplicação imediata de métodos estatísticos baseados nos desvios da mediana e suas relações com os eventos *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) para a previsão da precipitação pluvial diária na região Centro-Sul do Brasil, o que acarreta maior dificuldade da previsão dos demais parâmetros climáticos, a exemplo de temperatura, requeridos para a Previsão de Safras.

Apesar da constatação da impossibilidade da previsão climática diária segundo o método estatístico proposto, quer por carência de conhecimento quer por carência de dados climáticos, deve-se considerar que a metodologia estatística proposta foi adequada para identificar os efeitos locais e regionais do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO); seus resultados, de modo geral, são coerentes com relação às hipóteses propostas e o conhecimento disponível da circulação geral da atmosfera. Assim, é possível concluir que a metodologia estatística proposta é útil e de grande valia como ferramenta para estudos do clima, bem como suas interações com o fenômeno ENSO.

Cumpre lembrar que a importância desses estudos não se restringe à Previsão de Safras conforme o proposto aqui; pesquisas dessa natureza têm implicações maiores, estendendo-se inclusive à área de saúde pública. Portanto, reitera-se novamente a recomendação no sentido da intensificação de trabalhos semelhantes a esta tese, com ênfase especial para seus desdobramentos transdisciplinares, notadamente de meteorologistas e estatísticos.

4.4.2 Parâmetros climáticos previstos pelo modelo Eta

A utilização dos produtos provenientes de modelos numéricos na previsão do tempo tornou-se uma importante ferramenta de auxílio para os meteorologistas; entretanto, em alguns casos, pode-se perceber que essas previsões não são consistentes com as observações. Assim, urge realizar uma inspeção e reavaliação minuciosa da qualidade de tais previsões, utilizando, para tanto, todas as informações disponíveis, tais como imagens de satélite e dados de superfície ou até mesmo diagnósticos mais detalhados. Outra questão é a utilização de modelos de previsão numérica para a previsão de clima, bem como sua utilização prática, a exemplo da previsão de eventos importantes à produção agrícola.

Antes de conclusões sobre a previsão dos parâmetros climáticos precipitação pluvial, temperatura máxima e temperatura mínima pelo modelo numérico Eta, é importante relembrar que, a despeito de alguns comentários sobre aspectos climatológicos ao longo do texto, o objetivo principal era analisar a possibilidade do uso dessas previsões para a previsão do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura.

Os principais pontos observados sobre as previsões de precipitação pluvial e temperatura geradas pelo modelo Eta são: i) as previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta tenderam a reduzir a amplitude das precipitações pluviais entre os dias, inferindo-se uma melhor distribuição temporal da precipitação pluvial e a superestimativa do rendimento de grãos de milho, quando utilizadas essas previsões em modelo de cultura; ii) como as previsões geradas pelo modelo Eta tendem a normalizar as medidas de precipitação pluvial, é possível inferir que não preveja adequadamente as precipitações pluviais extremas, o que pode resultar em erros na previsão do rendimento de grãos de milho quando utilizada essas previsões em modelos de cultura; iii) à exceção de Barreiras, as previsões do modelo Eta tenderam a ampliar as variações de temperatura entre os dias, o que deve afetar as previsões de rendimento de grãos de milho por modelo de cultura; porém, esse efeito será dependente dos locais; iv) as previsões do modelo Eta tenderam a reduzir as amplitudes de temperatura durante os dias, o que implica previsões de temperatura máxima menores que as temperaturas máximas medidas e/ou previsão de temperaturas mínimas maiores que as temperaturas mínimas medidas. O efeito de super ou subestimativa do rendimento de grãos de milho por modelos de cultura em conseqüência das previsões de temperatura geradas pelo modelo Eta será dependente das temperaturas máximas e mínimas locais e da concentração sazonal do erro de previsão.

Grosso modo, as previsões geradas pelo modelo Eta são acuradas, pois, à exceção de Barreiras, Manduri e Porangatu, as previsões dos demais locais podem ser consideradas adequadas para a previsão do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura. Porém, apesar de serem consideradas acuradas, as previsões são influenciadas pelo local, já que, para localidades tidas como próximas neste estudo, como Manduri e Piracicaba, as previsões apresentaram comportamentos distintos. Enquanto em Manduri a tendência foi a de prever precipitações pluviais menores que as respectivas precipitações pluviais medidas, em Piracicaba a tendência foi a de prever precipitações pluviais maiores que as medidas. Ainda, observou-se mudança nas tendências de previsão para Barreiras, o que implica a impossibilidade da extrapolação e/ou inferência de resultados obtidos nos demais locais para a cidade.

Cabe destacar que não foram analisadas as relações entre as previsões do modelo Eta com a ocorrência dos fenômenos *El Niño* Oscilação Sul, o que poderia contribuir para a melhor compreensão das previsões geradas pelo modelo Eta.

Neste estudo foi possível observar que os locais do estado do Paraná são aqueles com as maiores amplitudes entre os dias de precipitação pluvial e temperatura medidos; portanto, a circulação atmosférica e, conseqüentemente, o regime climático da região, são bastante dinâmicos e complexos quando comparados a locais em latitude menores. No caso das previsões de precipitação pluvial realizadas pelo modelo Eta nos locais do Paraná, observa-se redução da amplitude entre os dias da precipitação pluvial, redução proporcional ao aumento do período de antecedência da previsão. Também foi verificada a tendência de previsão de precipitações pluviais menores que as medidas, sendo a diferença entre as previsões e as medidas diretamente proporcionais ao aumento do período de antecedência da previsão. Quanto às temperaturas, as previsões no Paraná tenderam a aumentar as variações entre os dias e a reduzir as variações durante os dias; porém, a redução das amplitudes térmicas durante o dia foi prejudicada, pois tanto as temperaturas máximas como as mínimas previstas foram maiores que as medidas.

No caso das diferenças sazonais, observou-se que as previsões de precipitação pluvial menores que as medidas se concentraram nos meses de Dezembro a Março, ou seja, durante o período recomendado para o cultivo de milho na região. Já a concentração das precipitações pluviais maiores que as medidas ocorreu nos meses de Junho a Setembro, implicando que essas superestimativas não devem ser problemáticas para a aplicação de modelos de cultura para a previsão da produção de milho por ocorrerem em período distinto do recomendado para o cultivo

de milho na região. A sazonalidade das diferenças entre as temperaturas previstas e as medidas também não deve ser problemática, pois as diferenças de temperatura também se concentraram nos meses de Junho a Setembro.

A partir da exposição sobre as previsões de precipitação pluvial e temperatura geradas pelo modelo Eta no Paraná, é possível inferir que sua aplicação para a previsão do rendimento de grãos de milho por modelos de cultura será prejudicada, principalmente, pelas menores precipitações pluviais previstas, pois as diferenças entre as temperaturas previstas e as medidas, apesar de significativas, se concentram em período distinto do recomendado para o cultivo de milho, safra normal, nesses locais.

Para as previsões geradas pelo modelo Eta para Campo Grande, observou-se a manutenção das tendências discutidas para o Paraná — redução da amplitude das precipitações pluviais previstas entre os dias, além de previsão de precipitações pluviais menores que as medidas. Assim, é possível inferir que o modelo Eta não preveja adequadamente as precipitações pluviais extremas para esse local. Quanto às previsões de temperatura em Campo Grande, também foram mantidas as tendências de aumentar as amplitudes entre os dias e de reduzir as amplitudes dentro dos dias, porém com temperaturas máximas previstas maiores que as medidas, já discutidas para o Paraná. A sazonalidade das diferenças entre as previsões e as respectivas medidas de precipitação pluvial em Campo Grande também são semelhantes às verificadas para o Paraná. Porém, a sazonalidade das previsões de temperatura geradas pelo modelo Eta indica que sua aplicação na previsão do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura implica alguma redução do rendimento de grãos de milho previsto pelo modelo de cultura, em razão da concentração de valores previstos de temperatura mínima maiores que os medidos, notadamente se esse erro estiver associado às menores precipitações pluviais previstas.

As previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta para os locais considerados de São Paulo também tendem a ser menores e melhor distribuídas temporalmente que as respectivas precipitações pluviais medidas, especialmente em Manduri. Já quanto à temperatura, as previsões geradas pelo modelo Eta tendem a aumentar as variações entre os dias, porém minimizando as variações durante os dias, em razão dos maiores valores previstos para as temperaturas mínimas. Acerca da sazonalidade das precipitações pluviais e temperaturas, observa-se que as menores precipitações pluviais se concentram na época recomendada para o cultivo de milho safra normal, enquanto as maiores temperaturas mínimas se concentraram nos meses de

Maio a Setembro, portanto em período distinto da época recomendada para o cultivo de milho na safra normal na região, o que implica que esse efeito não deva ser tão pronunciado. A exceção foi Manduri, onde a concentração das temperaturas mínimas mais elevadas se estendeu até Dezembro.

Os resultados das precipitações pluviais e das temperaturas previstas indicam que, com exceção de Manduri, o uso das previsões desse parâmetro climático não deverá afetar significativamente a previsão do rendimento de grãos de milho por modelo de cultura em São Paulo. Aponta-se ainda em São Paulo o efeito local sobre as previsões marcante, o que implica a reduzida possibilidade da extrapolação de resultados.

As previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta para os locais examinados em Minas Gerais tendem a ser mais distribuídas temporalmente que as respectivas precipitações pluviais medidas. As precipitações pluviais previstas tendem a ser maiores que as respectivas medidas nos locais mais ao sul e com climas de características mais temperadas, enquanto nos demais locais os resultados não permitem definir uma tendência geral, à exceção de Janaúba, em que as previsões tendem a subestimar a precipitação pluvial. Quanto à temperatura, as previsões geradas pelo modelo Eta tendem a aumentar as variações entre os dias, minimizando, contudo, as variações durante os dias, em razão dos maiores valores previstos para as temperaturas mínimas. Quanto à sazonalidade das diferenças entre as precipitações pluviais previstas e as respectivas medidas, verifica-se concentração nos períodos recomendados para o cultivo de milho safra normal nessa região. Já a sazonalidade das diferenças entre as temperaturas previstas e as respectivas medidas não deve afetar as previsões do rendimento de grãos de milho, pois as diferenças entre as temperaturas previstas e as respectivas medidas se distribuem no ano.

Considerando o exposto sobre as previsões de precipitação pluvial e de temperatura geradas pelo modelo Eta para Minas Gerais, é possível inferir que o uso dessas previsões para a previsão do rendimento de grãos de milho resulte em superestimativas nos locais mais ao sul do estado, em razão de as precipitações pluviais previstas serem maiores que as medidas. Nos demais locais, os rendimentos de grãos estimados não devem ser afetados pelas previsões de precipitação pluvial e de temperatura geradas pelo modelo Eta, exceto Janaúba, onde as precipitações pluviais previstas menores que as precipitações pluviais medidas devem subestimar o rendimento de grãos. Assim como em São Paulo, as previsões geradas pelo modelo Eta são bastante influenciadas pelo local, dificultando a extrapolação espacial de suas previsões.

De modo geral, as previsões de precipitação pluvial gerada pelo modelo Eta para os locais examinados em Goiás tendem a ser mais distribuídas no tempo e menores que as respectivas precipitações pluviais medidas, notadamente em Porangatu. A exceção foi para as previsões de precipitação pluvial em Itumbiara; porém, as diferenças entre as precipitações pluviais previstas e as respectivas precipitações pluviais medidas são inferiores a 4%. Quanto à temperatura, as previsões geradas pelo modelo Eta tendem a aumentar as variações entre os dias, minimizando, contudo, as variações durante os dias em razão dos maiores valores previstos para as temperaturas mínimas. Essas observações gerais para Goiás também são dependentes do local; entretanto, diferentemente de São Paulo e Minas Gerais, apresentam comportamentos semelhantes, o que possibilita a extrapolação espacial das previsões, à exceção de Itumbiara.

As previsões de precipitação pluvial gerada pelo modelo Eta para Barreiras são mais distribuídas temporalmente que as respectivas precipitações pluviais medidas; porém, as precipitações pluviais previstas são menores que as respectivas precipitações pluviais medidas. Quanto à temperatura, as previsões geradas pelo modelo Eta tendem a reduzir as variações entre os dias e durante os dias, em razão dos menores valores previstos para as temperaturas máximas e maiores valores previstos para as temperaturas mínimas. Assim, é possível inferir que as previsões do modelo Eta em Barreiras são as piores dos 24 locais estudados e que sua imprecisão é diretamente proporcional ao período de antecedência da previsão. Observa-se também que o comportamento e as tendências das previsões geradas pelo modelo Eta para Barreiras diferem do comportamento e das tendências verificados nos demais locais; desta forma, qualquer extrapolação ou inferência das previsões realizadas nos demais locais para Barreiras fica prejudicada.

Considerando essas observações, cabe notar que as relações entre as previsões geradas pelo modelo Eta para a região Centro-Sul do Brasil carecem de maiores estudos para sua perfeita compreensão. Entretanto, é possível concluir que é possível e viável a imediata aplicação das previsões de precipitação pluvial e de temperatura geradas pelo modelo Eta requeridos para a Previsão de Safras por modelos de cultura. Deve-se ressaltar ainda que a importância desses estudos não se restringe à Previsão de Safras; portanto, ratifica-se a recomendação no sentido da intensificação de trabalhos semelhantes a esta tese, com ênfase especial para seus desdobramentos transdisciplinares.

4.4.3 Estimativa e previsão do rendimento de grãos de milho

Considerando que o principal objetivo deste trabalho era propor uma metodologia para a Previsão de Safras baseada na previsão de parâmetros climáticos, no caso o modelo Eta, e na produção biológica dos vegetais, no caso um modelo de cultura, pode-se concluir que a metodologia proposta, grosso modo, é a adequada. Porém, tanto o modelo Eta quanto o modelo de cultura proposto apresentam limitações, as quais suscitam e demandam maiores estudos para a aplicação prática da metodologia proposta, conforme as proposições a seguir.

Os resultados obtidos nos locais considerados no Paraná indicam que o modelo de culturas indicado no tópico 3.3 apresenta limitações relacionadas à temperatura para a estimativa do rendimento de grãos de milho. A análise dos erros inerentes ao modelo de cultura nesses locais aponta que a estimativa do coeficiente hídrico realizada pelo modelo de cultura proposto tende a subestimar o rendimento de grãos de milho sob temperaturas mínimas menores que 19ºC e temperaturas máximas maiores que 31ºC. No entanto, os resultados obtidos nos demais locais, caso de Goiânia, Porangatu, Rio Verde, Capinópolis, Patos de Minas, Sete Lagoas, Limeira e Piracicaba, em que as temperaturas máximas foram próximas ou maiores que 31ºC durante os respectivos períodos recomendados para o cultivo de milho ciclo precoce pela Embrapa Milho e Sogro (2005b), indicam não haver restrições do modelo de cultura proposto na estimativa da produção biológica do milho em ambientes com temperaturas maiores que 31ºC. Assim, conclui-se que a limitação do modelo de cultura está relacionada às temperaturas mínimas menores que 19ºC e/ou à maior amplitude das temperaturas diárias, conforme verificado nos locais do Paraná.

A partir do exposto sobre a relação do modelo de culturas proposto e a temperatura diária, sugere-se a implementação de um modelo que considere a variação da condutância estomática em função da temperatura ambiente, a exemplo do modelo condutância estomática para folhas de plantas C4 descrito por Colltz, Ribas-Carbo e Berry (1992).

Os resultados da previsão no rendimento de grãos de milho no Paraná sugerem, a princípio, a possibilidade da utilização da metodologia proposta, pois a tendência do modelo Eta de prever melhor distribuição temporal da precipitação pluvial e temperaturas mínimas maiores minimiza os erros inerentes ao modelo de cultura proposto no tópico 3.3. Porém, deve ser levado em conta que o desconhecimento das interações entre as previsões do modelo Eta e as estimativas do modelo de cultura comprometem a Previsão de Safras nesses locais.

Em Campo Grande verificou-se a melhor acurácia das estimativas do modelo de cultura. Porém, as previsões do rendimento de grãos de milho por meio da utilização dos parâmetros climáticos gerados pelo modelo Eta foram comprometidas pela tendência do modelo Eta de prever precipitações pluviais maiores (30 a 90 dias de antecedência) que as respectivas medidas durante os meses recomendados para o cultivo de milho, ciclo precoce, em Campo Grande.

Em São Paulo, exceto para Guaíra e Manduri, os resultados confirmam a acurácia do modelo de cultura e justificam a Previsão de Safras. Com relação a Manduri e Guaíra, observou-se erro na estimativa da taxa de infiltração diária de água no solo pelo modelo de cultura, possivelmente porque os parâmetros utilizados (Tabela 6) não eram adequados para aqueles solos.

Em Minas Gerais os resultados sugerem que o modelo de cultura estimou adequadamente o rendimento de grãos de milho em Capinópolis, Patos de Minas, Sete Lagoas, e, a despeito da inferência quanto a problemas com os rendimentos medidos na safra 1997/98, em Paracatu. Em Lavras os resultados indicam que o erro na estimativa do rendimento de grãos de milho pode estar associado ao erro na estimativa da radiação diária. Dos resultados obtidos em Janaúba e Uberlândia pode-se concluir que o modelo de culturas não estimou adequadamente períodos de estresse hídrico em razão de não considerar apropriadamente a condutância estomática.

Quanto à previsão do rendimento de grãos de milho em Minas Gerais, a metodologia proposta foi adequada apenas para Patos de Minas. Nos demais locais, as previsões de precipitação pluvial geradas pelo modelo Eta contribuíram para prever rendimentos de grãos de milho maiores que os respectivos rendimentos máximos medidos. Esse efeito foi exacerbado pela tendência do modelo de cultura de subestimar estresses hídricos, possivelmente pela estimativa inadequada da transpiração diária, em Lavras, Paracatu, Sete Lagoas, Uberlândia e Viçosa, sendo que em Lavras e Viçosa há ainda o efeito de que precipitações pluviais previstas pelo modelo Eta são maiores que as respectivas precipitações medidas.

Nos locais considerados em Goiás, apenas em Itumbiara o modelo de culturas não foi adequado na estimativa do rendimento de grãos de milho, pois os resultados obtidos em Goianésia são atribuídos a problemas com os rendimentos medidos do Ensaio Nacional de Milho ciclo precoce. Os maiores rendimentos estimados em relação aos rendimentos máximos medidos em Itumbiara são atribuídos à limitação do modelo de cultura em calcular adequadamente a transpiração diária, pois o modelo de cultura não considera a variação no potencial de água da folha. Assim, a implementação de um modelo que permita estimar a transpiração diária

considerando o potencial de água na folha, a exemplo do modelo descrito por Colltz, Ribas-Carbo e Berry (1992), pode solucionar esse erro inerente ao modelo de cultura.

Quanto à previsão do rendimento de grãos de milho nos locais considerados em Goiás, observa-se que de modo geral o rendimento previsto foi maior que o rendimento estimado, o que se explica pelo fato de que as previsões de precipitação pluvial do modelo Eta são maiores e melhor distribuídas temporalmente que as respectivas precipitações medidas, o que contraria a hipótese estabelecida no tópico 4.2.5. Assim, com exceção de Brasília e Rio Verde, não é possível a previsão do rendimento de grãos de milho segundo a metodologia proposta, notadamente em Itumbiara, onde a tendência do modelo de cultura de estimar rendimentos maiores que os respectivos rendimentos máximos medidos foi exacerbada pelas previsões de precipitação do modelo Eta. Em Porangatu, ainda que o modelo de cultura tenha sido acurado, a previsão de temperaturas máximas geradas pelo modelo Eta menores que as respectivas temperaturas medidas comprometem a previsão do rendimento de grãos de milho.

Em Barreiras a estimativa do rendimento de grãos pelo modelo de cultura proposto foi inacurada, por conta da estimativa errônea da taxa de infiltração diária de água no solo. As previsões geradas pelo modelo Eta tendem a minimizar o erro inerente ao modelo de cultura pela melhor distribuição temporal da precipitação pluvial prevista; porém, impossibilitam a sua aplicação na previsão do rendimento de grãos de milho, pois o erro entre o rendimento previsto e o rendimento máximo medido não é sistemático.

A partir do exposto sobre a estimativa do rendimento de grãos de milho pelo modelo de culturas apresentado no tópico 3.3, é possível concluir pela sua limitação na estimativa da taxa de infiltração diária de água no solo e na estimativa da transpiração diária.

Quanto à taxa de infiltração diária de água no solo, os resultados permitem inferir que o erro está associado aos parâmetros apresentados na Tabela 6, derivados de estudos em solos de regiões temperadas; portanto, conforme destacado por Addiscott (1993), Radcliffe e Rasmussen (1999) e Tomasella e Hodnett (2005), podem não ser adequados para solos de regiões tropicais. Assim, recomenda-se a realização de estudos no sentido da determinação de parâmetros mais adequados aos solos brasileiros e/ou de novas metodologias para a estimativa da taxa de infiltração de água no solo.

Outra questão ser considerada quanto ao solo é a metodologia empregada para a caracterização dos teores de areia, silte, argila e carbono, pois é bastante provável que os valores

selecionados no banco de dados indicado por Cooper et al. (2005) não correspondam aos valores dos locais selecionados no Ensaio Nacional de Milho e Sorgo ciclo precoce, conforme se pode depreender das coordenadas apresentadas nas Tabelas 3 e Tabela 11. Neste caso, sugere-se a realização de estudos semelhantes ao de Cooper et al. (2005), no sentido de disponibilizar bancos de dados mais acurados para os parâmetros do solo.

Quanto aos erros inerentes à estimativa da transpiração diária pelo modelo de cultura proposto no tópico 3.3, reitera-se a necessidade de implementação de um modelo que estime a condutância estomática considerando a temperatura ambiente e, principalmente, o potencial de água na folha , esta a maior limitação do modelo de cultura proposto.

Ainda quanto à estimativa do rendimento de grãos de milho, os resultados obtidos em Lavras indicam a limitação que a falta de medidas dos parâmetros climáticos representa para a Previsão de Safras; assim, a despeito de importantes progressos realizados recentemente no Brasil, reitera-se a necessidade da instalação de um banco de dados nacional com o objetivo de viabilizar estudos dessa natureza.

Quanto à previsão do rendimento de grãos de milho, observa-se que algumas das hipóteses estabelecidas no tópico 4.2 e reiteradas no tópico 5.2 não se verificaram, indicando que as interações entre os erros inerentes ao modelo de culturas e os erros inerentes ao modelo Eta são mais complexos do que se supõe. Não obstante, de modo geral, a tendência do modelo Eta de minimizar as variações entre os dias da precipitação e minimizar as variações no dia da temperatura contribuíram significativamente para erros na previsão do rendimento de grãos de milho. Houve, ainda, erros na previsão do total de precipitação pluvial diária, os quais, associados à previsão de melhor distribuição temporal da precipitação, em geral, contribuíram para previsões no rendimento maiores que as respectivas estimativas, apontando a necessidade de estudos mais amplos e profundos sobre as previsões do modelo Eta e suas interações com as atividades agrícolas, em especial nos meses de primavera e verão.

Considerando o exposto, a princípio os resultados são desalentadores; entretanto, observa-se que a metodologia proposta é inédita no Brasil, e que, portanto, erros eram esperados. Assim, a metodologia proposta revela-se promissora para a Previsão de Safras, pois de modo geral os erros inerentes ao modelo de cultura e ao modelo Eta são identificados. Portanto, ao invés de desalento, os resultados suscitam estímulo para novos estudos.

5 CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos e que o principal objetivo desta Tese é a Previsão de Safras com ênfase no rendimento de grãos de milho, pode-se concluir que a metodologia proposta não foi precisa e acurada, pois, em alguns locais os rendimentos previstos diferiram dos respectivos rendimentos medidos, inclusive, essa diferença variou segundo a safra. Porém, as previsões que foram coerentes com os rendimentos de grãos de milho medidos indicam pela viabilidade da metodologia proposta, carecendo apenas de maiores estudos sobre as estimativas realizadas pelo modelo de cultura e sobre as previsões de parâmetros climáticos.

Quanto ao modelo de culturas, sugerem-se estudos sobre a estimação da condutância estomática e a dinâmica de água no sistema agrícola com ênfase na estimação da taxa de infiltração diária.

Quanto à previsão de parâmetros climáticos, a análise das previsões de radiação incidente, precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas e umidade relativa do ar, realizadas pelo modelo Eta, e suas interações com as estimativas realizadas pelo modelo de culturas, sugerem a necessidade de maiores estudos, notadamente, sobre a tendência do modelo Eta de minimizar as variações entre os dias da precipitação pluvial prevista e durante o dia das temperaturas previstas.

Ainda quanto à previsão de parâmetros climáticos, a análise realizada de séries históricas de precipitação e suas relações com o fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) indicam pela impossibilidade da utilização dessa metodologia para previsão da precipitação pluvial diária conforme requerida pelo modelo de culturas. Entretanto, considerando que em algumas regiões estudadas o ENSO apresenta relações significativas com a variação precipitação pluvial, sugerem-se maiores estudos sobre esse tema, o quais serão úteis ao planejamento e estabelecimento de políticas agrícolas publicas e privadas regionais com prazos superiores aos 120 dias propostos neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ADDISCOTT, T.M. Simulation modelling and soil behaviour. **Geoderma**, Amsterdam, v. 60, n. 1, p. 15-40, Dec. 1993.

AFFHOLDER, F.; RODRIGUES, G.C.; ASSAD, E.D. Modelo agroclimático para avaliação do comportamento do milho na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 10, p. 121-238, out. 1997.

AGRITEMPO. **Sistema de monitoramento agrometeorológico**. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br >. Acesso em: 22 dez. 2005.

ALFONSI, R.R. **Agrometeorologia:** importância e aplicações. Piracicaba: ESALQ, CPG Fitotecnia, 1991. 23 p.

ALGARVE, V.R.; CAVALCANTI, I.F.A. Características da circulação atmosférica associadas à ocorrência de geadas no sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1994, 8., Belo Horizonte. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1994. p. 545-547.

ALUKO, G.K.; FISCHER, K.S. The effect of changes of assimilate supply around flowering on grain sink size and yield of maize (*Zea mays* L.) cultivars of tropical and temperate adaptation. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 39 n. 2, p. 153-161, Apr. 1988.

ALVES, J.M.B.; REPELLI, C.A. A variabilidade pluviométrica no setor norte do Nordeste e os eventos *El Niño*/Oscilação Sul (ENOS). **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 583-593, set. 1992.

ALVES, V.M.C.; VASCONCELOS, C.A.; PITTA, G.V.E.; MAGNAVACA, R. Seleção de genótipos de milho para eficiência a fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 10, p. 1033-90, out. 1988.

ANDRADE, F.H. **Radiación y temperatura determinan los produtividades máximos de maíz**. Balcarce: Instituto Nacional de tecnologia agropecuária, 1992. 34 p. (Boletin Técnico, 106).

ANDRADE, F.H. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 41, n. 1, p. 1-12, Apr. 1995.

ANDRADE, F.H.; UHART, S.; ARGUISSAIN, G. **Produtividade potencial de maiz en Balcarce:** analisis de los fatores que los determinan. Balcarce: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária, 1991. 11 p. (Boletim Técnico, 101).

ANDRADE, K.M.; CAVALCANTI, I.F.A. **Climatologia dos sistemas frontais e padrões de comportamento para o verão na América do Sul**. Disponível em: <http://iris.sid.inpe.br:1915/col/cptec.inpe.br/walmeida>. Acesso em: 22 dez. 2005.

ANDRADE, R.V.; BORBA, C.S. **Tecnologia para produção de sementes de milho**. Sete Lagoas: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1993. 61 p. (Circular Técnica, 6).

ARIS, R. **Mathematical modeling techniques**. New York: Dover, 1994. 269 p.

ATKINSON, B.W. **The weather business**. Londres: Aldus Books, 1968. 123 p.

ASSAD, E.D. (Ed.). **Chuvas nos cerrados:** análise e espacialização. Brasília: Embrapa, SPI, 1994. v. 1, 423 p.

ASSIS, J.P. **Modelo estocástico para estimação de produtividade potencial de milho em Piracicaba - SP**. 2004. 169 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ed.Brestrand Brasil, 1996. 332 p.

BAIER, W. Crop-weather analysis model: review and model development. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 12, n. 6, p. 937-947, Sept. 1973.

BAIER, W. Note on the terminology of crop-weather models. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 20, n. 2, p. 137-145. Apr. 1979.

BARRY, R.G.; CHORLEY, R.J. **Atmósfera, tiempo y clima**. 4. ed. Barcelona: Ed. Omega, 1985. 500 p.

BATTAN, L.J. **Fundamentals of meteorology**. New Jersey: Prentice Hall, 1979. 321 p.

BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H. Ecofisiologia do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2002. 1 CD-ROM.

BERLATO, M.A.; SUTILI, V.R. Determinação das temperaturas bases dos subperíodos emergência – pendoamento e emergência – espigamento de 3 cultivares de milho. In: REUNIÃO TÉCNICA DE MILHO E SORGO, 21., 1976, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: FEPAGRO, 1976. p.26.

BLACK, T.L. The New NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. **Weather and Forecasting**, Boston, v. 9, n. 2, p. 265-278, Jun. 1994.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crop models. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, n. 6, p. 704-716, Nov. 1996.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T. **Cultura do milho:** fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-145.

BRUNINI, O.; MIRANDA M.A.C.; MASCARENHAS, H.A.A.; PEREIRA, J.C.V.N.; SCHIMIDT, N.C. Teste de um modelo agroclimático que relacione o regime pluviométrico com as variações da produtividade agrícola. **Coleção Análise e Pesquisa**, Brasília, v. 24, n. 19, p. 21-46, 1982.

BYERS, H.R. **General meteorology**. 4nd ed. New York: MacGraw-Hill, 1974. 461 p.

CAIXETA FILHO, J.V. **Pesquisa operacional:** técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais. São Paulo: Atlas, 2001. 171 p.

CAMPBELL, G.S. **Soil physics with BASIC:** transport models for soil-plant systems. New York: Elsevier, 1985. 150 p.

CAMPBELL, G.S. Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 36, n. 4, p. 317-321, Apr. 1986.

CAMPOS, H. **Estatística não paramétrica**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1983. 349 p.

CARRASCO, S.; SANTANDER, H. The *El Niño* event and its influence on the zooplankton of Peru. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 92, n. c13, p. 14405-14410, Dec. 1987.

CARVALHO, L.M.V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, Lawrence, v. 17**,** n. 1**,** p. 88-108, Jan. 2004.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes:** ciência, tecnologia e produção. 3.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 429 p.

CASARIN, D.P.; V.E. KOUSKY. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 83-90, Maio 1986.

CATALUNHA, M.J.; SEDIYAMA, G.C.; LEAL, B.G.; SOARES,C.P.B.; RIBEIRO, A. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 153-162, jul. 2002.

CAVALCANTI, I.F.A. **Previsão climática no CEPTC**. Disponível em: <http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise>. Acesso em: 22 dez. 2005.

CELLIER, P.; RUGET, F.; CHARTIER, M.; BONHOMME, R. Estimating the temperature of maize apex during early growth stages. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 63, n. 1, p. 35-54, Feb. 1993.

CHEN, S.C.; FONSECA, L.B. Corn yield model for Ribeirão Preto, São Paulo State, Brazil. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 22, n. 3, p. 341-349, Dec. 1980.

CHOPART, J.L.; SIBAND, P. Development and validation of a model to describe root length density of maize from root counts on soil profiles. **Plant and Soil**, New York, v. 214, n. 1, p. 617-74, Mar. 1999.

CHOU, S.C.; NUNES, A.M.B.; CAVALCANTI, I.F.A. Extended range runs using the Eta model over South America. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 105, n. 5, p. 10147-10160, May 2000.

CHOU, S.C.; BUSTAMANTE, J.F.; GOMES, J.L. Evaluation of seasonal precipitation forecasts over South America using Eta model. **Nonlinear Processes in Geophysics**, Katlenburg-Lindau, v. 12, n. 4, p. 537-555, July 2005.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date and maize productivity. I. Crop growth and dry matter partitioning. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 1039-1043, 1994a.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date and maize productivity. II. Kernel number determination**. Crop Science**, Madison, v. 34, p. 1044-1046, 1994b.

COOLATZ, G. M.; RIBAS-CARBO, M.; BERRY, J.A. Coupled photosynthesis-stomatal conductance model for leaves of C4 plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v. 19, n. 3, p. 519-538, mes, 1992.

COOPER, M.; MENDES, L.M.S.; SILVA, W.L.C.; SPAROVEK, G. A national soil profile database for brazil available to international scientists. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, n. 3, p. 649-652, May 2005.

COSTA, L.C. Modelagem e simulação em agrometeorologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 3-6.

COUTO, L.; SANS, L.M.A. **Características físico–hídricas e disponibilidade de água no solo**. Sete Lagoas: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 2002. 8 p. (Circular Técnica, 21).

CRUZ, G.S. **Manutenção zonal da corrente de jato sobre a América do Sul**. 2001. 100 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.

DERECZYNSKI, C.P.; ROZANTE, J.R.; CHOU, S.C. Avaliação do desempenho do modelo regional Eta utilizando um topografia de 30 segundos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000. 1 CD-ROM.

DOORENBOS, J. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 306 p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1975, 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

DONALD, C.M.; HAMBLIN, J. The biological yield and harvest index of cereal as agronomic and plant breeding criteria. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 28, p. 361-405, 1976.

DOURADO NETO, D. Principles of crop modeling and simulation. I. Uses of mathematical models in agriculture science. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, special issue, p. 46-50, 1998.

DOURADO NETO, D. **Modelos fitotécnicos referentes à cultura de milho**. 1999. 227 p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

DOURADO NETO, D.; REICHARDT, K.; SPAROVEK, G.; TIM, L.C. **Curva de retenção de água nos solos**: algoritmo em QuickBasic para estimativa dos parâmetros empíricos do modelo de Genuchten. Piracicaba: ESALQ, 1990. 33 p. (Manual de instruções ao usuario).

DRIESSEN, P.M.; KONIJN, N.T. **Land-use system analysis**. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 1992, 230 p.

DUARTE, A.P; PATERNIANI, M.E.A.G.Z. **Fatores bióticos e abióticos em cultivares de milho e estratificação ambiental:** avaliação IAC/CATI/Empresas – 1999/2000. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2000. 150 p.

DUNCAN, W.G. Maize. In: EVANS, L.T. (Ed.) **Crop physiology:** some case histories. Cambridge: University Press, 1975. p. 23-50.

DUVICK D.N. Genetic contributions to advances in yield of U.S. maize. **Maydica**, Bergamo, v. 37, p. 69-79, Jan. 1992.

ELINGS, A. Estimation of leaf area in tropical maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 3, p. 436-444, May 2000.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Ensaio nacional de cultivares de milho**. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/ensaio/index.html/ >. Acesso em: 22 dez. 2005a.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Cultivo do milho**. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/index.htm >. Acesso em: 22 dez. 2005b.

FANCELLI, A.L. **Influência do desfolhamento no desempenho de plantas e de sementes de milho (*Zea mays* L.)**. 1988. 172 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: Publique, 1997. 174 p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FANCELLI, A.L.; LIMA, U.A. **Milho:** produção, pré-processamento e transformação agroindustrial. São Paulo: FEALQ, 1982. 112 p.

FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M. **Modelo para estimação da produtividade de grãos de milho no estado de São Paulo**. 2004. 169 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C.A. Precipitions distribution over Central and Western Tropical South America. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, São José dos Campos, v. 5, n. 6, p. 36 - 45, 1990.

FLEAGE, R.G.; BUSINGER, J.A. **An introduction to atmospheric physics**. 2nd ed. New York: Academic Press, 1980. 432 p.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1992. 273 p.

FRATTINI, J.A. **Cultura do milho**: instruções sumárias, Campinas: CATI/COT, 1975. 26 p. (Mimeografado).

FRÈRE, M.; POPOV, G.F. **Pronóstico de cosechas basado en datos agrometeorológicos**. Roma: FAO, 1980. 68 p. (Estudio FAO. Produccion y Proteccion Vegetal, 17).

GARNETT, E.R.; KLANDEK.AR, M.L. The impact of large-scale atmospheric circulations and anomalies on Indian Monsoon droughts and floods and in world grain yields - a statistical analysis. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 61, n. 2, p. 113-28, Sep. 1992.

GARNIER, E.; SHIPLEY, B.; ROUMET, C.; LAURENT, G. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. **Functional Ecology**, Hong Kong, v. 15, n. 2, p. 688–695, Apr. 2001.

GENUCHTEN, M. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

GIFFORD, R.M.; EVANS, L.T. Photosynthesis, carbon partitioning and yield. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 32, p. 485-509, 1981.

GOODMAN, M.M.; SMITH, J.S.C. Botânica. In: PATERNIANI, E. (Coord.). **Melhoramento e produção do milho no Brasil**. Piracicaba: Editora Marprint, 1978. p.32-61.

GOUDRIAAN, J.; van LAAR, H.H. **Modelling potencial crop growth processes:** textbook with exercices. Dordrecht: Kluwer Academic. 1994. 238 p. (Current Issues in Production Ecology, 2).

GRIMM, A. The *El Niño* impact on the Summer Monsson in Brazil: regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, Lawrence, v. 16, n.1, p. 263-280, Jan. 2003.

GRANT, R.F. Simulation of carbon assimilation and partitioning in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 5, p. 563-571, Sept. 1989.

GRABARNIK, P.; PAGÈS, L.; BENGOUGH, A.G. Geometrical properties of simulated maize root systems: consequences for length density and intersection density. **Plant and Soil**, New York, v. 200, n. 2, p. 157-167, Mar 1998.

GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS. **TERRAÇO 3.0**. Viçosa, 2005. Disponível em: <http://www.ufv.br/dea/gprh/terraco3/index.htm>. Acesso em: 22 dez. 2005.

HALTINER, G. J.; WILLIAMS, R.T. **Numerical prediction and dynamic meteorology**, 2nd ed. New York: John Wiley, 1971. 542 p.

HANDLER, P. Corn yields in the United States and sea surface temperature anomalies in the Equatorial Pacific Ocean during the period 1868-1982. **Agricultural and Forest Meteorology,** Amsterdam v. 31, n. 1, p. 25-31, Feb. 1984.

HEEMST, H.D.J. van. Physiological principles. In: KEULEN, H.van.; WOLF, J. **Modeling of agricultural production:** weather, soils and crops. Wageningem: Pudoc, 1986. p.13-26.

HEEMST, H.D.J. van. **Plant data value required for simple crop growth simulation models:** review and bibliography. Wageningen: Centre for Agrobiological Research and Department of Theoretical Production Ecology **,** n. 17, 1988. 100 p.(Simulation Report CABO-TT, 17)

HEEMST, H.D.J. van. MERKELIJN, J.J.; KEULEN, H. van. Labour requirements in various agricultural systems. **Quarterly Journal of International Agriculture**, Berlin, v. 20, n.2, p. 178-201, Apr. 1981.

HORTON, P. Prospects for crops improvement through the genetic manipulation of photosynthesis: morphological and biochemical aspects of light capture. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, p. 475-485, 2000.

HURREL, J.W.; VINCENT, D.G. On the maintenance of short-term subtropical westerly maxima in the Southern Hemisphere during SOP-1, FGGE. **Journal of Climate,** Lawrence, v. 4, n. 10, p. 1009-1022, Oct. 1991.

HURTADO, A.L.B. **Variabilidade da condutividade hidráulica do solo em valores fixos de umidade e de potencial mátrico**. 2004. 94 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. 295 p. (Boletim Técnico, 100).

INSTITUTE OF GLOBAL ENVIRONMENT AND SOCIETY. **Grid analysis and display system (GrADS)**. Disponível em: <http://grads.iges.org/grads/grads.html>. Acesso em: 22 dez. 2005.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. ***El niño* e *La Niña***. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/enos/animacao.shtml>. Acesso em: 22 dez. 2005a.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Processos físicos em modelos regionais e melhoria na qualidade das previsões de tempo na América do Sul - Projeta**. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/projeta/>. Acesso em: 22 dez. 2005b.

JOHNSON, D.R.; TANNER, J.W. Calculation of the rate and duration of grain filling in corn (*Zea mays* L.). **Crop Science**, Madison, v. 12, p. 485-489, 1972.

JONES, J.W.; MISHOE, J.W.; BOOTE, K.J. **Introduction to simulation and modeling**. Gainesville: Food and Fertilizer Technology Center, 1987. 18 p. (Technical Bulletin, 100).

JONES, R. J.; ROESSLER, J.; OUATTAR, S. Thermal environment during endosperm cell division in maize: effects on number of endosperm cells and starch granules. **Crop Science**, Madison, v. 25, n. 3, p. 830-834, May 1985.

KAYANO, M.T.; KOUSKY, V.E. Sobre o monitoramento das oscilações intrasazonais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 7. n. 4, p. 593-602, dez.1992.

KAYANO, M.T.; MOURA, A.D. O *El-Niño* de 1982-83 e a precipitação sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1 2, p. 201-214, jun. 1986.

KIESSELBACH, T.A. **The structure and reproduction of corn**. Lincoln: Nebraska Agricultural Experimental Station, 1949. 96 p. (Research Bulletim, 161)

KINIRY, J.R. Maize physics development. In: HANKS, J.; RITCHIE, J.T. **Modeling plant and soil systems**. Madison: ASA, 1991. p. 55-71

KOUSKY, V.E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, Lawrence, v. 107, n. 9, p. 1140-1153, Sep. 1979.

KOUSKY, V.E.; CAVALCANTI, F.A. Eventos oscilação Sul-*El Niño*: características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 36, n. 11, p. 40-51, 1984.

KROPFF, M.J.; MATTEWS, R.B.; LAAR, H.H. van; BERGE, H.F.M. ten. The rice model oryzal and its testing. In: MATTHEWS R.B.; KROPFF. M.J.; BACHELET, D.; LAAR, H.H. van. (Ed.). **Modeling the impact of climate change on rice production in Asia**. Manila: IRRI, 1995. p. 27-50.

KÜPPER, A. Os solos do Brasil e suas possibilidades para o milho. In: MORGENTHALER, J. **Cultura e adubação do milho**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Potassa, 1966. p. 249-60.

LAMB, H.H. Problems and practice in longer-range weather and climate forecasting. In: TAYLOR, J.A. (Ed.). **Weather forecasting for agriculture and industry**. Edinburgh: David and Charles, 1972. p. 98-143

LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. Berlin: Spring-Verlag, 1995. 506 p.

LENTERS, J.D.; COOK, K.H. On the origin of Bolivian high and related circulation features of South American climates. **Journal of Atmospheric Science**, Boston v. 54, n. 5, p. 656-677, Mar. 1997.

LEOPOLD, A.C. **Plant growth and development**. New York: Mc-Graw-Hill, 1964. 465 p.

LIMA, M.G. **Calibração e validação do modelo Ceres-maize em condições tropicais do Brasil**. 1995. 119 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

LIU, W.T.H. Estimativa da produtividade de milho usando o modelo fisiológico Ceres-Maize. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA 6., 1989, Maceió. **Anais...** Maceió: Fundação Cargill, 1989. p. 400-401.

LOZARDA, B.I.; ANGELOCCI, L.R. Efeito da temperatura do ar e da disponibilidade hídrica do solo na duração de subperíodos e na produtividade de um híbrido de milho (*Zea mays*, L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 37-43, jul. 1999.

LUCCHESI, A.A.; PERES, L.E.P. **Relações hídricas II**. Disponível em: <http://www.ciagri.usp.br/~lazaropp/FisioVegGrad/RelacoesHidricasII.html>. Acesso em: 22 dez. 2005.

MACHADO, E.C. Eficiência fotossintética. In: SEMINÁRIO DE BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA, 1985, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1985. p. 175-200.

MAGALHÃES, P.C.; JONES, R. Aumento de fotoassimilados na taxa de crescimento e peso final dos grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 12, p. 1747-1754, dez. 1990a.

MAGALHÃES, P.C.; JONES, R. Aumento de fotoassimilados sobre teores de carboidratos e nitrogênio em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 12, p. 1755-1761, dez. 1990b.

MAGALHÃES, P.C.; PAIVA, E. Fisiologia da produção de milho. In: **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. Brasília: EMBRAPA, SPI, 1993. 204 p.

MAIA, A. H. N.; MEINKE, H. From inferential statistics to climate knowledge. **Advances in Geosciences**, Katlenburg-Lindau , v. 6, n.1, p. 211-216, Feb. 2006.

MAIA, A.H.N.; MEINKE, H.; LENNOX, S. Assessment of probabilistic forecast 'skill' using p-values. In: INTERNATIONAL CROP SCIENCE CONGRESS, 4., 2004, Brisbane, **Proceedings…** Gosford NSW: The Regional Institute, 2004. Disponível em: <http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/2/6/1360_maiaa.htm >. Acesso em: 22 dez. 2005.

MAIA, A.H.N.; MEINKE, H.; LENNOX, S.; STONE, R.C. Inferential, non-parametric statistics to assess quality of probabilistic forecast systems, **Monthly Weather Review**, Lawrence, accepted subject to revision, 2006. No prelo.

MANGELSDORF, P.C. **Corn: its origin, evolution, and improvement**. Cambridge: Harvard University Press, 1974. 262 p.

MARKUS, K.G. *El Niño*, its impact on 1992 world sugar production. **Sugar y Azucar**, New Jersey, v. 87, n. 4, p. 23-28, July 1992.

MARTORANO, L.G.; PEREIRA,L.C.; COSTA, AC.L., RIBEIRO, J.T. Variabilidade da precipitação pluviométrica em Belém - Pará associada ao fenômeno *El Niño*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7., 1992, São Paulo. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1992. p. 86-89.

MEINKE, R.; HAMMER, G.L. Forecasting regional crops production using SOI phases: an example for the Australian peanut industry. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 48, n. 6, p. 789-793, Sept.1997.

MELO FILHO, A.C.C. Influência dos eventos extremos da oscilação sul na precipitação do nordeste de Minas Gerais.. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, 2003. p. 30-34.

METEOROLOGICAL SERVICE OF CANADA. **Classification of *El Niño*-Southern oscillation (ENSO) occurrences for the 1950-2003 period**. Disponível em: <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/education/elnino/comparing/index_e.cfm#table1900_1949>. Acesso em: 22 dez. 2005.

MESINGER, F. A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. **Rivista Meteorologia Aeronautica**, Roma, v. 44, n. 3, p. 195-202, ott. 1984.

MESINGER, F. Numerical methods: the Arakawa approach, horizontal grid, global, and limited-area modeling. In: RANDALL, D.A. (Ed). **General circulation model development:** past, present and future. New York: Academic Press, 2000. p.373-419. (International Geophysics Series, v. 70)

MESINGER, F. THOMAS, L.; WARD, J. Eta Model precipitation forecast for a period including tropical storm Alison. **Weather and Forecasting**, Boston, v. 5, n. 3, p. 483-493, Sept.1990.

MINUZZI, R.B.; SEDIYAMA, G.C.; RIBEIRO, A.; COSTA, J.M.N. *El Niño*: ocorrência e duração dos veranicos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande , v. 9, n. 3, p. 364-371, 2005.

MIRANDA DE BARROS, G.L. **Meteorologia para navegantes**. Rio de Janeiro: Editora Catau, 1991. 162 p.

MOLION, L.C.B. ENOS e o clima no Brasil. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 56, p. 24-29, 1989.

MONDRAGÓN, V.E.C. **Estimativa da produtividade da cultura do milho em Minas Gerais, baseada em variáveis e em tendência tecnológica**. 1990, Viçosa. 68 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

MOURA, A.D. Evolução da meteorologia: da Babilônia a nossos dias. **Revista Brasileira Tecnologia**, Rio de Janeiro, v.17, n.1, p.5-14, fev.1986.

MOURA, A.D. Prospects for seasonal-to-interanual climate prediction and applications for sustainable development. **World Meteorological Organization Bulletin**, Geneva v. 43, n. 3, p. 207-215, July 1994.

MUALEN, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resources Research**, Washington, v. 12, n. 3, p. 513-522, Mar. 1976.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Quality protein maize**. Washington D.C.: National Academic Press. 1988. 100 p.

NATIONAL WEATHER SERVICE. **Monitoring & Data**. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/>. Acesso em: 22 dez. 2005.

NICKELL, L.G. **Plant growth regulating chemicals**. Boca Raton: CRC Press, 1983. 137 p. 2v.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422 p.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over Tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, Lawrence, v. 9**,** n. 10**,** p. 2464-2479, Oct. 1996.

NUNES, F.C.F.P. **Relações entre irregularidades pluviométricas, desenvolvimento fenológico e produtividade do milho (*Zea mays* L.) e probabilidade de frustração de safra**. 1993. 147 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1993.

OLIVEIRA, A.S. **Interações entre sistemas na América do Sul e convecção na Amazônia**. 1986. 121 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 440 p.

PANDOLFO, C. **Parâmetros básicos para uso na modelagem do rendimento de matéria seca em alfafa (*Medicago sativa* L.)**. 1995. 128 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

PARKER, S.P. **Encyclopedia of oceanic and atmospheric sciences**. New York: MacGraw-Hill, 1980. 590 p.

PAUSTIAN, K.; PARTON, W.J.; PERSSON, J. Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen fertilized long-term plots. **Soil Science Society of America Journal**, Stanford, v. 56, n. 1, p. 476-488, Jan. 1992.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidade vegetal**. Campinas: Instituto Agronômico, 1987. 33 p. (Boletim Técnico, 114).

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

POMMEL, B.; MOURAUX, D.; CAPPELLEN, O.; LEDENT, J.F. Influence of delayed emergence and canopy skips on the growth and development of maize plants: a plant scale approach with CERES-Maize. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 16, n. 4, p. 263-277, July 2002.

QUADRO, M.F.L.; ABREU, M.L. Estudos de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul sobre a América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8. 1994, Belo Horizonte. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1994. p.620-623.

OUATTAR, S.; JONES, R. J.; CROOKSTON, R.K. Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development. **Crop Science**, Madison, v. 27, n. 3, p. 726-730, May 1987.

QUINN, W.H.; NEAL, V.T.; DE MAYOLO, S.E.A.: *EI Niño* occurrences over the past four and a half centuries. **Journal Geophysical Research**, Washington, v. 92, n. C13, p. 144449-144461,1987.

RADCLIFFE, D.E.; RASMUSSEN, T.C. Soil water movement. In: SUMNER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science**. New York: CRC Press, 1999. p. 87-123.

RAO, U.B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: anual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**,Viena, v. 42, n. 2, p. 81-91, June 1990.

RASCHKE, K. Heat transfer between the plant and the environment. **Annual Review of P1ant Physiology**, Palo Alto, v. 11, p. 111-126, 1960.

RIJTEMA, P.E. **Soil moisture forecasting**. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 1969, 69 p. (Nota 513). Disponivel em <http://www.wau.nl/beng/quasi/gis_models/wofost/k0.shtml>. Acesso em: 22 dez. 2005.

ROBERTSON, A.W.; MECHOSO, C.R. Interannual and interdecadal variability of South Alantic convergence zone. **Monthly Weather Review**, Lawrence, v. 128, n. 8, p. 2947-2957, Aug. 2000.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with *El Niño*/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, Lawrence, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, Aug. 1987.

RUSSEL, G.; MARSHALL, B.; JARVIS, P.G. **Plant canopies:** their growth, form and function. New York: Cambridge University Press,1989. 178 p.

SANTOS, A.RA. dos. **Análise das tendências de chuva e das temperaturas extremas na região de Belém (PA)**. 1993. 124 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

SAS INSTITUTE. SAS STAT users guide: version 6.12. Cary, 1998.

SATYAMURTI, P.; MATTOS, L.F. Climatologycal lower trophosferic frontogenesis in the midlalatitudes due to horizontal deformation and divergence. **Monthly Weather Review**, Lawrence, v. 117, n. 6, p. 1355-1364, June 1989.

SCHENK JUNIOR, S.R.; BARROS, R.S.; FONSECA, L.C.M. **Previsão numérica do tempo**. Niterói: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 1995. 121 p.

SCHOPER, J.B.; JOHNSON, R.R.; LAMBERT, R.J. Maize yield response to increased assimilate supply. **Crop Science**, Madison, v. 22, n. 4, p. 1184-1189, July 1982.

SETTER,T.L.; FLANNIGAN,B.A.; MELKONIAN,J. Loss of kernel set due to water deficit and shade in maize: carbohydrate supplies, abscisic acid, and cytokinins. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 5, p. 1530-1540, Sept. 2001.

SHAW, R.H. Climatic requirements. In: SPRAGUE, G.F.; FUCCILLO, D.A.; PERELMAN, L.S.; STELLY, M. **Corn and corn improvement**. Madison: Wisconsin, American Society of Agronomy, 1977. p. 591-623 (Agronomy, 18).

SILVA, G.L.S.P.; VICENTE, J.R.; CASER, D.V. **Variações do tempo e produtividade agrícola, um subsídio à previsão de safras no Estado de São Paulo**. Campinas: Fundação Cargill, 1986. 148 p.

SOARES, J. **Os movimentos da atmosfera: circulação geral da atmosfera**. Disponível em: <http://www.iag.usp.br/meteo/labmicro/Forcas_na_atmosfera.PDF>. Acesso em: 22 dez. 2005.

STEWART, D.W.; DWYER, L.M. Mathematical characterization of leaf shape and area of maize hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 2, p. 422-427, Mar. 1999.

STOCKLE, C.O.; NELSON, R.L. **Cropsyst User's manual (Version 2.0)**. Washington: Washington State University, Biological Systems Engineering Department, 1996. Disponível em: < http://c100.bsyse.wsu.edu/cropsyst/>. Acesso em: 22 dez. 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Tradução de E.R.Santarem et al. Porto Alegre: Artmed Editora, 2004. 719p.

TALJAARD, J.J. Synoptic meteorology of the Southern Hemisphere. In: NEWTON, C. W. (Ed.). **Meteorology of the southern hemisphere American**. Boston: Meteorological Society, 1972. p. 139–213.

TANAKA, A.; YAMAGUCHI, J. **Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano en maíz**. Chapingo: Colegió de Postgraduados, 1977. 124 p.

TARDIEU, F. Analysis of the spatial variability in maize root density III. Effect of a wheel compaction on water extraction. **Plant and Soil**, New York, v. 109, n. 2, p. 257-262, July 1988.

TAVARES, C.E.C. **Análise prospectiva do mercado de milho:** safra 2004/05. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/download/cas/especiais>. Acesso em: 22 dez. 2005.

THOMPSON, L.M. Weather and technology in the production of com in the U.S. corn belt. **Agronomy Journal**, Madison, n. 61, n. 4, p. 453-456, July 1969.

TOLLENAAR, M. Sink-source relationships during reproductive development in maize: a review. **Maydica**, Bergamo, v. 22, p. 49-75, 1977.

TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T.B. Relationship between assimilate source and reproductive sink in maize grown in a short season environment, **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 3, p. 219-223, May 1977.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. Pedotransfer functions for tropical soils. **Developments in Soil Science**, Amsterdam, v. 30, p. 415-429, 2005.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2000. 532 p.

VARLET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R.; SINOQUET, H (Ed.). **Crop structure and light microclimate**. Paris: INRA Editions, 1993. 518 p.

VEEREKEN, H.; MAES, J.; FEYEN, J.; DARIUS, P. Estimating the soil moisture retention characteristics from texture, bulk density and carbon content. **Soil Science**, Amsterdam, v. 148, n. 6, p. 389-403, Nov.1989.

VERTREGT, M.N.; KEULEN, H. van. Potential crop production prediction by some simple calculation methods as compared with computer simulations. **Agricultural System**, Amsterdam, v. 19, n. 4, p. 249-272, Nov.1986.

VERTREGT, M.N.; VRIES, F.W.T.P. de. A rapid meted for determining the efficiency of biosynthesis of plant biomass. **Journal of Theoretical Biology**, Amsterdam, v. 128, p. 109-119, 1987.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**.Viçosa: Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 1991. 448 p.

VIEIRA JUNIOR, P.A. Milho. In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. (Ed.). **Ecofisiologia dos cultivos anuais**. São Paulo: Nobel, 1999. p. 41-72.

VIEIRA JUNIOR, P.A., MOLIN, J.P., DOURADO NETO, D., MANFRON, P., MASCARIN, L.S., FAULIN, G.C., DETOMINI, E.R. Relação entre população, distribuição espacial de plantas, atributos do solo e rendimento de grãos de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 4., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2004a. 1 CD-ROM.

VIEIRA JUNIOR, P.A.; DOURADO NETO, D.; OLIVEIRA, R.F.; PERES L.E.P.; MARTIN, T.N.; MANFROM, P.A. Variação do Potencial Hídrico e da Temperatura Foliar em Plantas de Milho e de Sorgo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2004b. 1 CD-ROM

VILLA NOVA, N.A.; PEDRO Jr., M.J.; PEREIRA, A.R.; OMETTO, J.C. Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima. **Caderno de Ciência da Terra**, São Paulo, v. 30, p. 1-8, 1972.

VILLANUEVA, J.G. **Estudo do coeficiente de transferência do vapor d'água sobre a cultura do feijão**. 1987. 58 p., Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

WANG, Y.P.; JARVIS, P.G. Mean leaf angles for the ellipsoidal inclination angle distribution. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 43, n. 4, p. 319-321, Sept. 1988.

WYLEN, G.; SONNTAG, R.; BORGNAKKE, C. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. Tradução de E.J. Zerbini e R.S.E. Simões. 4.ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1995. 590 p.

WIT, C.T.; GOUDRIAAN, A.H. **Simulation of ecological processes**. 2 nd ed. New York: John Wiley, 1978. 140 p.

WOLFE, L. **Probing the atmosphere, the story of meteorology**. New York: G.P. Putnam's, 1961. 231 p.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. ***El Niño*** **phenomenon and fluctuations of climate**. Geneva: WMO, 1986. 46 p.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Extended abstract of the Conference on the Economic Benefits of Meteorological and Hydrological Services**. Geneva: WMO, 1994. 307 p.

WRIGHT, P.B. Relationships between Indices of Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, Lawrence, v. 112, n. 9, p. 1913-1919, Sept.1984.

YIN, X. **Quantifying the effects of temperature and photoperiod on phenological development to flowering in rice**. 1996. 173 p. Thesis (Ph.D.) - Wageningen Agricultural University, Wageningen, 1996.

ZHAO, Q.; BLACK, T.L.; BALDWIN, M.E. Implementation of the cloud prediction scheme in the Eta model at NCEP. **Weather and Forecasting**, Boston, v. 12, n. 3, p. 697-712, Sept.1997.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo