

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Parametrização do modelo LINTUL para estimar a produtividade potencial  
da cultura de milho**

**Vicente Gaiewski**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Agronomia. Área de concentração:  
Fitotecnia

Piracicaba  
2009

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Vicente Gaiewski  
Licenciado em Técnicas Agropecuárias

**Parametrização do modelo LINTUL para estimar a produtividade potencial  
da cultura de milho**

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

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Agronomia. Área de concentração:  
Fitotecnia

Piracicaba  
2009

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Gaiewski, Vicente

Parametrização do modelo LINTUL para estimar a produtividade potencial da cultura de milho / Vicente Gaiewski. - - Piracicaba, 2009.  
94 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.  
Bibliografia.

1. Crescimento vegetal - Análise 2. Milho - Produtividade - Modelagem I. Título

CDD 633.15  
G137p

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

Aos meus pais (Jeronimo e  
Genoveva Rutkauskas) (*in  
memoriam*), à minha esposa  
(Silvana) e aos meus filhos  
(Caroline e João Vicente),

**Dedico.**



## AGRADECIMENTOS

Agradeço:

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (por intermédio do Departamento de Produção Vegetal e Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Sertão, pela oportunidade de realização do Curso de Pós-Graduação em nível de Mestrado;

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia (Durval Dourado Neto, João Alexio Scarpate Filho, José Laércio Favarin, Paulo Augusto Manfron, Paulo César Tavares de Melo, Pedro Jacob Christoffoleti e Ricardo Kluge) da Universidade de São Paulo pelos ensinamentos;

À Secretária do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Luciana Lopes, pelo apoio;

Ao Professor Dr. Carlos Rodrigues Pereira, pela cessão dos dados para análise de crescimento da cultura de milho, e

Aos meus colegas (professores) e ao ex-Diretor Élcio Paim pelo apoio e colaboração.





## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>9</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>11</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>13</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>15</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>21</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>23</b>
2.1 Importância econômica.....	23
2.2 Modelos e modelagem em agricultura.....	25
2.3 Fenologia .....	28
2.4 Fisiologia da produção .....	31
2.4.1 Elementos do clima e fatores da planta que afetam produtividade .....	33
2.4.1.1 Radiação solar.....	33
2.4.1.2 Temperatura .....	33
2.4.1.3 Luz .....	34
2.4.2 Processos fisiológicos que afetam produtividade.....	35
2.4.2.1 Coeficiente de extinção.....	35
2.4.2.2 Eficiência de utilização de radiação .....	35
2.4.2.3 Fotossíntese bruta .....	37
2.4.2.4 Respiração.....	38
2.4.2.5 Partição de fotoassimilados .....	39
2.4.2.6 Senescência.....	40
2.5 Modelo LINTUL .....	41
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>43</b>
3.1 Caracterização climática.....	43
3.2 Local e época de implantação do experimento.....	49
3.3 Tratos culturais .....	49
3.4 Genótipos, população, determinações e delineamento experimental .....	50
3.5 Massa de matéria seca de raiz, colmo, folha e órgão reprodutivo.....	50
3.6 Área foliar.....	51
3.7 Produtividade de grãos .....	51
3.8 Modelo LINTUL .....	51
3.8.1 Parâmetros iniciais do modelo.....	52
3.8.2 Temperatura média e soma térmica.....	52
3.8.3 Desenvolvimento relativo da cultura.....	53
3.8.4 Duração do dia.....	53
3.8.5 Índice de área foliar .....	54
3.9 Parametrização do modelo LINTUL para a cultura de milho .....	57
3.9.1 Parâmetros obtidos por intermédio do experimento.....	57
3.9.2 Parâmetros obtidos com base na Literatura.....	57
3.9.3 Estimadores de ajuste do modelo .....	57
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>59</b>
4.1 Massa de matéria seca de raiz, colmo, folha e órgão reprodutivo.....	59
4.2 Parametrização do modelo LINTUL para a cultura de milho .....	71
4.2.1 Parâmetros do modelo obtidos por intermédio do experimento e na Literatura .....	71
4.2.2 Índice de área foliar .....	72

4.3	Produtividade de grãos.....	78
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>85</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>87</b>

## RESUMO

### **Parametrização do modelo LINTUL para estimar a produtividade potencial da cultura de milho**

Com o objetivo de parametrizar o modelo LINTUL (*Light Interception and Utilization - Intercepção e Utilização da Luz*) foi conduzido um experimento de campo, na safra 2003/2004, em Piracicaba-SP, na área experimental do Departamento de Produção Vegetal (Esalq) da Universidade de São Paulo, utilizando o procedimento de análise de crescimento. Ao longo do ciclo da cultura, foram efetuadas 24 amostragens, com 4 repetições, para determinação da massa de matéria seca de raiz, colmo, folha e órgão reprodutivo. Em função dos resultados obtidos referentes à parametrização do modelo LINTUL com base na comparação dos valores medidos e estimados do índice de área foliar (erro relativo entre -3,6 e +3,9%) e da produtividade potencial (erro relativo entre -1,0 e +3,2%) de grãos da cultura de milho, os valores dos parâmetros são: (i) escala: diária (1 dia); (ii) soma térmica entre a semeadura e emergência: 115°C.dia; (iii) soma térmica entre a emergência e o florescimento: 902°C.dia; (iv) soma térmica entre o florescimento e o ponto de maturidade fisiológica: 1009°C.dia; (v) área foliar específica: 0,036 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>; (vi) índice de área foliar inicial: 0,017 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup> (BRS-1001 e BRS-3003) e 0,022 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup> (BRS-1010); (vii) índice de área foliar crítico: 5,7 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>; (viii) temperatura basal inferior: 10°C; temperatura basal superior: 40°C; (ix) temperatura ótima inferior: 28°C; (x) temperatura ótima superior: 35°C; (xi) eficiência do uso da radiação: 2,38 g.MJ<sup>-1</sup> e (xii) coeficiente de extinção de luz: 0,7 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>.

Palavras-chave: *Zea mays*; Análise de crescimento; Índice de área foliar; Modelagem



## ABSTRACT

### Parametrization of LINTUL model to estimate the corn crop potential productivity

With the purpose of parameterizing the LINTUL (*Light Interception and Utilization*) model a field experiment was carried out, during the season 2003/2004, in Piracicaba, state of São Paulo, Brazil, in the experimental area of Crop Science Department (Esalq) of University of São Paulo, using the crop growth analysis procedure. During the crop cycle, 24 sampling were done, with 4 replications, for root, stem, leaf and storage organ dry matter measurements. According to parameterization results of the LINTUL model based on comparison of the measured and estimated values of the leaf area index (relative error between -3.6 and +3.9%) and of the corn crop potential productivity (relative error between -1.0 and +3.2%), the parameters values are: (i) scale: daily (1 day); (ii) thermic index between sowing and emergence: 115°C.day; (iii) termic index between emergence and flowering: 902°C.day; (iv) termic index between flowering and physiological maturity point: 1009°C.day; (v) specific leaf area: 0.036 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>; (vi) initial leaf area index: 0.017 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup> (BRS-1001 and BRS-3003) and 0.022 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup> (BRS-1010); (vii) critical leaf area index: 5.7 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>; (viii) basal temperature (inferior): 10°C; (ix) basal temperature (superior): 40°C; (x) optimum temperature (inferior): 28°C; (xi) optimum temperature (superior): 35°C; (xii) radiation efficiency use: 2.38 g.MJ<sup>-1</sup> and (xiii) light extinction coefficient: 0.7 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>.

Keywords: *Zea mays*; Crop growth analysis; Leaf area index; Modeling



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Estádios de desenvolvimento da cultura de milho (NEL; SMIT, 1978 apud FANCELLI, 1986)..... 31
- Figura 2 - Variação dos valores de temperatura (T, °C) máxima (Tmx) e mínima (Tmn) do ar e radiação solar global (Qg, MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>), em função do número de dias após a emergência (DAE), referentes ao período de setembro de 2003 a fevereiro de 2004. Estação convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP ..... 49
- Figura 3 - Valores médios observados (IAFo) e estimados (IAFe) de índice de área foliar (m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>) da cultura de milho, em função do número de dias após a emergência (DAE), referentes ao genótipo BRS-1001. Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004..... 75
- Figura 4 - Valores médios observados (IAFo) e estimados (IAFe) de índice de área foliar (m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>) da cultura de milho, em função do número de dias após a emergência (DAE), referentes ao genótipo BRS-1010. Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004..... 76
- Figura 5 - Valores médios observados (IAFo) e estimados (IAFe) de índice de área foliar (m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>) da cultura de milho, em função do número de dias após a emergência (DAE), referentes ao genótipo BRS-3003. Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004..... 77
- Figura 6 - Comparação entre os valores médios observados (Po) e estimados (Pe) de produtividade de grãos de milho (P, kg.ha<sup>-1</sup>) para os três genótipos (BRS-1001, BRS-1010 e BRS-3003) utilizados. Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 (Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Desvio mínimo significativo: 1162,6 kg.ha<sup>-1</sup>)..... 82





### LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área (hectares) e produção (toneladas) de milho no Brasil nas safras 2007/2008 e 2008/2009 .....	23
Tabela 2 - Produção mundial de grãos (em milhões de toneladas) .....	24
Tabela 3 - Produção mundial de ração (em milhões de toneladas) .....	24
Tabela 4 - Valores diários de radiação solar global ( $Q_g$ , $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ ), temperatura do ar máxima ( $T_{mx}$ , °C), temperatura do ar mínima ( $T_{mn}$ , °C) referentes ao período de 20 a 30 setembro de 2003. Estação convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP .....	43
Tabela 5 - Valores diários de radiação solar global ( $Q_g$ , $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ ), temperatura do ar máxima ( $T_{mx}$ , °C), temperatura do ar mínima ( $T_{mn}$ , °C) referentes ao período de 1 a 31 de outubro de 2003. Estação convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP .....	44
Tabela 6 - Valores diários de radiação solar global ( $Q_g$ , $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ ), temperatura do ar máxima ( $T_{mx}$ , °C), temperatura do ar mínima ( $T_{mn}$ , °C) referentes ao período de 1 a 30 novembro de 2003. Estação convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP .....	45
Tabela 7 - Valores diários de radiação solar global ( $Q_g$ , $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ ), temperatura do ar máxima ( $T_{mx}$ , °C), temperatura do ar mínima ( $T_{mn}$ , °C) referentes ao período 1 a 31 de dezembro de 2003. Estação convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP .....	46
Tabela 8 - Valores diários de radiação solar global ( $Q_g$ , $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ ), temperatura do ar máxima ( $T_{mx}$ , °C), temperatura do ar mínima ( $T_{mn}$ , °C) referentes ao período de 1 a 31 de janeiro de 2004. Estação convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP .....	47

Tabela 9 - Valores diários de radiação solar global ( $Q_g$ , $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ ), temperatura do ar máxima ( $T_{mx}$ , °C), temperatura do ar mínima ( $T_{mn}$ , °C) referentes ao período de 1 a 16 de fevereiro de 2004. Estação convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP.....	48
Tabela 10 - Massa de matéria seca de raiz de milho ( $g.planta^{-1}$ ) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-1001 (4 repetições - $R_1$ , $R_2$ , $R_3$ e $R_4$ ). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 .....	59
Tabela 11 - Massa de matéria seca de colmo de milho ( $g.planta^{-1}$ ) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-1001 (4 repetições - $R_1$ , $R_2$ , $R_3$ e $R_4$ ). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 .....	60
Tabela 12 - Massa de matéria seca de folha de milho ( $g.planta^{-1}$ ) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-1001 (4 repetições - $R_1$ , $R_2$ , $R_3$ e $R_4$ ). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 .....	61
Tabela 13 - Massa de matéria seca de órgão reprodutivo de milho ( $g.planta^{-1}$ ) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-1001 (4 repetições - $R_1$ , $R_2$ , $R_3$ e $R_4$ ). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 .....	62
Tabela 14 - Massa de matéria seca de raiz de milho ( $g.planta^{-1}$ ) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-1010 (4 repetições - $R_1$ , $R_2$ , $R_3$ e $R_4$ ). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 .....	63
Tabela 15 - Massa de matéria seca de colmo de milho ( $g.planta^{-1}$ ) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-1010 (4 repetições - $R_1$ , $R_2$ , $R_3$ e $R_4$ ). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 .....	64

Tabela 16 - Massa de matéria seca de folha de milho (g.planta <sup>-1</sup> ) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-1010 (4 repetições - R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub> e R <sub>4</sub> ). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 .....	65
Tabela 17 - Massa de matéria seca de órgão reprodutivo de milho (g.planta <sup>-1</sup> ) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-1010 (4 repetições - R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub> e R <sub>4</sub> ). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 .....	66
Tabela 18 - Massa de matéria seca de raiz de milho (g.planta <sup>-1</sup> ) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-3003 (4 repetições - R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub> e R <sub>4</sub> ). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 .....	67
Tabela 19 - Massa de matéria seca de colmo de milho (g.planta <sup>-1</sup> ) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-3003 (4 repetições - R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub> e R <sub>4</sub> ). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 .....	68
Tabela 20 - Massa de matéria seca de folha de milho (g.planta <sup>-1</sup> ) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-3003 (4 repetições - R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub> e R <sub>4</sub> ). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 .....	69
Tabela 21 - Massa de matéria seca de órgão reprodutivo de milho (g.planta <sup>-1</sup> ) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-3003 (4 repetições - R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub> e R <sub>4</sub> ). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 .....	70
Tabela 22 - Valores (4 repetições - R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub> e R <sub>4</sub> ) de índice de índice de área foliar (m <sup>2</sup> .m <sup>-2</sup> ) da cultura de milho, nas diferentes datas de coleta e nos diferentes dias após a emergência (DAE), referentes ao genótipo BRS-1001. Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004.....	72

- Tabela 23 - Valores (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>) de índice de índice de área foliar (m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>) da cultura de milho, nas diferentes datas de coleta e nos diferentes dias após a emergência (DAE), referentes ao genótipo BRS-1010. Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 ..... 73
- Tabela 24 - Valores (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>) de índice de índice de área foliar (m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>) da cultura de milho, nas diferentes datas de coleta e nos diferentes dias após a emergência (DAE), referentes ao genótipo BRS-3003. Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 ..... 74
- Tabela 25 - Valores medidos de produtividade de grãos secos por metro linear (*Pm*, g.m<sup>-1</sup>) com 4 repetições (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>), e com 10 amostragens por repetição para o genótipo BRS-1001. Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004..... 79
- Tabela 26 - Valores medidos de produtividade de grãos secos por metro linear (*Pm*, g.m<sup>-1</sup>) com 4 repetições (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>), e com 10 amostragens por repetição para o genótipo BRS-1010. Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004..... 79
- Tabela 27 - Valores medidos de produtividade de grãos secos por metro linear (*Pm*, g.m<sup>-1</sup>) com 4 repetições (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>), e com 10 amostragens por repetição para o genótipo BRS-3003. Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004..... 80
- Tabela 28 - Valores estimados de produtividade de grãos de milho (*P*, kg.ha<sup>-1</sup>), corrigida para 13% de umidade, com 4 repetições (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>), e com 10 amostragens por repetição referente ao genótipo BRS-1001. Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 ..... 80

Tabela 29 - Valores estimados de produtividade de grãos de milho ( $P$ , $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), corrigida para 13% de umidade, com 4 repetições ( $R_1$ , $R_2$ , $R_3$ e $R_4$ ), e com 10 amostragens por repetição referente ao genótipo BRS-1010. Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004.....	81
Tabela 30 - Valores estimados de produtividade de grãos de milho ( $P$ , $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), corrigida para 13% de umidade, com 4 repetições ( $R_1$ , $R_2$ , $R_3$ e $R_4$ ), e com 10 amostragens por repetição referente ao genótipo BRS-3003. Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004.....	81
Tabela 31 - Valores médios de produtividade de grãos de milho ( $P$ , $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), corrigida para 13% de umidade, referentes aos genótipos BRS-1001, BRS-1010 e BRS-3003. Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 .....	83



## 1 INTRODUÇÃO

A cultura de milho (*Zea mays* L.) apresenta importância econômica e social no Brasil e no mundo, por ser utilizado como produto básico na alimentação humana e de animais e servir de matéria-prima para a indústria, gerando empregos diretos e indiretos nos três setores (primário, secundário e terciário) da economia.

A importância do tema desenvolvido no presente trabalho, é o de possibilitar definir os principais gargalos da definição da produtividade potencial da cultura de milho, definindo tendências para o melhoramento genético. No futuro, em função da maior eficiência fotossintética, em termos de produção de carboidrato por unidade de área foliar e de tempo, no início do ciclo, as plantas de milho apresentarão menor altura, e irão possibilitar maior população; sem aumento demasiado da respiração, devido a massa de matéria seca total não ser significativamente aumentada. Além disso, em função do balanço de energia e da quantidade de grãos de pólen produzida, parte das plantas de uma população de milho no futuro serão desprovidas de pendão, possibilitando assim atingir outro patamar de produtividade potencial.

Do ponto de vista do produtor rural, o presente trabalho se justifica pela necessidade de se conhecer a potencialidade, em termos de produtividade, de uma dada localidade ou região. Conhecendo a produtividade potencial, pode-se estimar a produtividade máxima econômica, a qual define o conjunto de ações (sistema de produção) para atingi-la. Do ponto de vista da pesquisa, torna-se importante conhecer os fatores limitantes da produtividade potencial, como arquitetura da parte aérea, partição de fotoassimilados oriundos da fotossíntese líquida e eficiência de conversão de carboidrato em fitomassa seca; além da possibilidade de determinar a ordem de grandeza da assimilação de dióxido de carbono, da eficiência de utilização de radiação, de luz e de água.

Para estimar a produtividade potencial da cultura de milho, foram levantadas as seguintes hipóteses: (i) a produtividade potencial depende apenas da temperatura, radiação solar fotossinteticamente ativa, fotoperíodo e genótipo; (ii) é possível conduzir um experimento de campo para determinar a ordem de grandeza da produtividade potencial (controle efetivo de pragas, doenças, plantas daninhas e da disponibilidade de água e de nutrientes no solo, principalmente); (iii) a espécie *Zea mays* pode ser representada pelos três genótipos escolhidos (BRS-1001, BRS-1010 e BRS-3003); (iv) a população de 70.000 plantas por hectare, com o espaçamento de 0,8 m entre linhas de plantas, representa a situação dos cultivos no Brasil de alto

nível tecnológico e (v) a produtividade máxima econômica é relacionada à produtividade potencial, a qual define a tecnologia a ser utilizada para atingi-la.

O presente trabalho teve por objetivo parametrizar o modelo LINTUL (Interceptação e Utilização da Luz), com base na comparação dos valores medidos e estimados do índice de área foliar e da produtividade potencial de grãos da cultura de milho.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Importância econômica

Na safra 2008/2009, o Brasil produziu 47.000.000 de toneladas de milho em 13.500.000 hectares, resultando uma produtividade média de 3.481 kg.ha<sup>-1</sup>, sendo os estados do Paraná (9.500.000 t), Minas Gerais (6.450.000 t), Mato Grosso (5.750.000 t) e Rio Grande do Sul (4.400.000 t), os quatro maiores produtores (BRANDALIZZE, 2009) (Tabela 1).

Tabela 1 - Área (hectares) e produção (toneladas) de milho no Brasil nas safras 2007/2008 e 2008/2009

Estado	Área (ha)		Produção (t)	
	2007/2008	2008/2009	2007/2008	2008/2009
Rio Grande do Sul	1.390.000	1.400.000	5.320.000	4.400.000
Santa Catarina	715.000	680.000	4.090.000	3.630.000
Paraná	2.970.000	2.850.000	15.400.000	9.500.000
São Paulo	970.000	920.000	4.670.000	4.090.000
Minas Gerais	1.310.000	1.290.000	6.630.000	6.450.000
Goiás	900.000	790.000	5.020.000	4.100.000
Mato Grosso do Sul	985.000	875.000	3.520.000	2.800.000
Mato Grosso	1.850.000	1.780.000	7.700.000	5.750.000
Brasil Total	14.100.000	13.500.000	58.000.000	47.000.000

Fonte: Brandalizze (2009)

Na última década, o milho se tornou o principal produto entre os alimentos mais produzidos no mundo, superando o trigo (BRANDALIZZE, 2009) (Tabela 2).

Tabela 2 - Produção mundial de grãos (em milhões de toneladas)

Produto	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010
Milho ( <i>Zea mays</i> )	712	791	787	785
Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> )	596	609	682	657
Arroz ( <i>Oryza sativa</i> )	420	433	443	448
Soja ( <i>Glycine max</i> )	236	221	212	241
Feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	19,5	19,5	19,0	19,5

Fonte: USDA (2009) apud Brandalitze (2009).

A produção de milho cresceu em ritmo acelerado, passando de 712 (safra 2006/2007) para 785 milhões de toneladas (safra 2009/2010), devido a dois fatores importantes: (i) consumo para produção de energia (etanol) e (ii) para ração (BRANDALIZZE, 2009) (Tabela 3).

Tabela 3 - Produção mundial de ração (em milhões de toneladas)

País	2006	2007	2008	2009	2010
EUA	152	158	166	167	175
China	107	122	133	140	150
Brasil	48	53	58	61	70
Mundo	668	715	758	765	808

Fonte: Brandalitze (2009).

As cotações de preço de milho dependem da oferta e da demanda de grãos, principalmente quando há sobra de outros produtos, como trigo e soja, que também são utilizados em ração (BRANDALIZZE, 2009).

A produção mundial (oferta) de grãos na safra 2008/2009 foi de aproximadamente 2,2 bilhões de toneladas e o consumo (demanda) pouco acima das 2,1 bilhões. Assim, depois de vários anos com o consumo maior que a produção, as cotações seguem em ritmo ascendente (BRANDALIZZE, 2009).

A estimativa para a safra 2009/10 é de pouco mais de 2,1 bilhões de toneladas, para um consumo próximo das 2,2 bilhões de toneladas. Novamente a demanda superará o consumo e as cotações continuarão subindo o preço de milho (BRANDALIZZE, 2009).

Os alimentos apresentam avanço nas cotações e vão ao encontro ao avanço da população mundial (FAO, 2009 apud BRANDALIZZE, 2009), que cresce acima de 70 milhões de pessoas por ano. Associado a isso, há a ascensão econômica de uma boa fatia da população de países pobres ou emergentes, que saem da pobreza para a linha de consumidores de alimentos, que no caso atual superam a marca das 100 milhões de pessoas por ano.

O consumo mundial de alimentos tem sido aumentado consideravelmente devido à China e à Índia terem colocado, respectivamente, cerca de 40 e 30 milhões de pessoas da classe baixa para a classe média (novos consumidores), além do crescimento em outros países da Ásia, da África e da América do Sul (BRANDALIZZE, 2009).

## **2.2 Modelos e modelagem em agricultura**

A técnica de criar modelos é proveniente da análise de sistemas, podendo ser definida como uma organização dos atributos de interesse particular que visa conceituar, integrar e generalizar o conhecimento científico por intermédio da simplificação da realidade, resultando em uma ferramenta de auxílio (modelo) para simular diversos cenários, a qual é concebida a partir da eleição dos diversos atributos provenientes das diversas áreas do conhecimento (SANTOS, 1984; THORNLEY; JOHNSON, 1990; THORNLEY, 1998; LIMA, 1995; BARROS, 1998; DOURADO NETO, 1999; GADIOLI, 1999; FRANÇA, BERGAMASCHI, ROSA, 1999; DOURADO NETO et al., 2003).

No sistema solo, planta e atmosfera, assume-se a existência de uma fonte inesgotável de carbono (C), nitrogênio (N) e água. Na fase atmosfera tem-se energia (radiação solar, temperatura e vento), água na forma de vapor (umidade relativa) e líquida (chuva); enquanto que o Homem define os níveis de insumo e a estratégia de otimizar os recursos naturais (THORNLEY, 1976, 1998).

Um das propostas para classificar os modelos é: modelos matemáticos e modelos de simulação. Os modelos matemáticos se referem às representações matemáticas de um fenômeno: (i) modelos empíricos (baseados em dados observados); (ii) modelos estocásticos (em que o processo é descrito pelas leis de probabilidade) e (iii) modelos mecanísticos (consideram as leis físicas, químicas e biológicas no processo) (PAUSTIAN; PARTON; PERSSON, 1992).

Os modelos de simulação podem ser divididos em: (i) determinísticos (um conjunto de eventos leva a um resultado único e definido) e (ii) estocásticos (a incerteza é considerada na sua

estrutura). Essas duas categorias mencionadas podem ainda dividir os modelos de simulação em: (i) mecânicos, que procuram descrever os mecanismos envolvidos no processo e (ii) funcionais, que descrevem apenas os aspectos gerais do processo (ADDISCOTT, 1993).

Pesquisadores de diferentes instituições vêm usando modelos para testar a habilidade na simulação de eventos fenológicos, produção de biomassa e produtividade de grãos (DOURADO NETO, 1999).

Pode-se apontar como aspectos positivos da modelagem: (i) fazer previsões de interesse particular, visando nortear tomadas de decisão e operar um sistema de produção; (ii) descobrir o que se deve buscar para entender um sistema; (iii) identificar lacunas do conhecimento; (iv) auxiliar a elaboração de um zoneamento climático; (v) nortear a pesquisa, por intermédio do rastreamento oferecido pela composição do modelo; e (vi) fornecer subsídio teórico para estudos mais amplos e mais complexos (SANTOS, 1984; THORNLEY, 1998; DOURADO NETO, 1999; BARIONI et al., 2003).

Os modelos não podem ser encarados como objetivo final da pesquisa, e sim como uma consequência; ou de qualquer necessidade agrônômica, e nem tampouco como uma ferramenta pronta, visto que são previamente concebidos e são compostos por vários elementos, os quais devem ser bem conhecidos e constantemente aferidos quanto aos seus limites, diante das diversas situações. Os modelos são a causa (e não a consequência) de uma ordem de grandeza a ser estimada, a qual deverá ser comparada com observações de situações reais, para que então possa ser validado (THORNLEY, 1998; DOURADO NETO, 1999).

O uso de modelos (com a finalidade de previsão) pode ter aplicações antes e durante o crescimento e desenvolvimento da cultura, podendo essa informação ser usada ao nível de propriedade rural ou para planejamento de políticas agrícolas (HOOGENBOOM, 2000).

Diversos autores desenvolveram modelos que simulam o desenvolvimento da planta, o acúmulo de matéria seca nos diferentes compartimentos da planta, bem como o índice de área foliar, em função de parâmetros fenológicos e climáticos (DE WIT; GOUDRIAAN, 1974; KEULEN; PENNING DE VRIES; DRESS, 1982; SPITTERS; TOUSSAINT; PENNING DE VRIES; SPITTERS, 1991; PENNING DE VRIES; KROPFF; TENG, 1991; HANKS; RITCHIE, 1991; GOUDRIAAN; LAAR, 1992, 1994).

O modelo *Water and Agrochemical Vadose Environment* (WAVE), parte de um projeto do Instituto de Pesquisas científicas na agricultura e indústria da Bélgica, foi desenvolvido em

condições climáticas amplas. Esse modelo é resultante de inúmeras pesquisas que objetivaram o desenvolvimento, a calibração e validação de modelos matemáticos que descrevem a quantidade de matéria e energia no sistema solo-planta-atmosfera, e consistem de diferentes módulos de simulação do crescimento de plantas e movimento da água, solutos, calor e nitrogênio no solo (GADIOLI, 1999; FIGUEREDO JÚNIOR, 2004).

O modelo *Crop-Environment Resource Synthesis* (CERES)-Maize foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos com o objetivo de quantificar os efeitos independentes e interativos do genótipo, clima e atributos do solo no crescimento e produção de milho. O referido modelo simula os principais processos fisiológicos da planta, incluindo: fotossíntese; respiração; acúmulo e partição de fitomassa; fenologia; crescimento de folhas, caules e raízes; extração de água do solo e evapotranspiração (CARDOSO; FARIA; FOLEGATTI, 2004; FIGUEREDO JÚNIOR, 2004).

Os modelos WAVE e CERES-Maize, são capazes de simular satisfatoriamente em distintas situações. Contudo, estes modelos são bastante complexos e sua aplicação requer uma grande quantidade de parâmetros de entrada, tornando sua utilização limitada pela dificuldade na obtenção dos dados requeridos nas simulações (VANCLOOSTER et al., 1994).

Um procedimento mais simples foi desenvolvido por Doorenbos e Kassam (1994) para estimar a produtividade potencial de diversas culturas. Simulações realizadas com a utilização deste modelo requerem uma quantidade relativamente pequena de dados de entrada, o que facilita sua aplicação (VILLA NOVA; SANTIAGO; RESENDE, 2001).

Deve-se ressaltar que todos os modelos são abstrações e simplificações. O grau de abstração usado é um valor de um julgamento a ser feito no contexto do objetivo. A efetividade do modelo está no equilíbrio entre a realidade e a abstração na reprodução do sistema (SANTOS, 1984).

Não existe modelo certo ou errado. O modelo apresenta diversos graus de aplicação para diversas circunstâncias. Não existe um modelo universal que forneça solução para todos os problemas. Os modelos são construídos e adaptados às diversas situações particulares. Os profissionais que trabalham com essa ferramenta devem portanto definir claramente seus objetivos antes de pensar em construí-los, enquanto que os usuários devem escolher aqueles que melhor resolvam suas necessidades particulares (THORNLEY; JOHNSON, 1990; THORNLEY, 1998; DOURADO NETO et al., 2003).

### 2.3 Fenologia

A cultura de milho apresenta duração do ciclo variável. Porém, no Brasil, a cultura apresenta, na maioria dos casos, duração do ciclo entre 110 e 150 dias. Para tal, há a utilização de genótipos superprecoces, precoces e tardios para viabilizar sua adequação ao ambiente de cultivo.

O ciclo da cultura apresenta as seguintes etapas de desenvolvimento: (i) semeadura à emergência: período de germinação, que pode variar de 5 a 12 dias de duração em função da temperatura e do teor de água no solo, principalmente; (ii) fase vegetativa: emergência ao florescimento; e (iii) fase reprodutiva: florescimento ao ponto de maturidade fisiológica.

Os estádios (Figura 1) fenológicos da cultura de milho podem assim ser descritos (EMBRAPA, 2004; FANCELLI, 1986, 1988, 1994, 1995; LIMA, 1995; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000): (i) estágio 0 (emergência); (ii) estágio 1 (planta com 4 folhas totalmente desdobradas); (iii) estágio 2 (planta apresentando 8 folhas completamente expandidas); (iv) estágio 3 (plantas com 12 folhas completamente expandidas); (v) estágio 4 (emissão do pendão); (vi) estágio 5 (florescimento e polinização); (vii) estágio 6 (grãos leitosos); (viii) estágio 7 (grãos pastosos); (ix) estágio 8 (início da formação de “dentes”); (x) estágio 9 (grãos “duros”) e (xi) estágio 10 (ponto de maturidade fisiológica).

No estágio 0, o processo de germinação pode durar duas semanas quando a temperatura for 10,5°C, quatro dias quando for 15,5°C e três dias quando for 18°C (SPITTERS; SCHAPENDONK, 1990). A profundidade de semeadura também influencia a duração do período de germinação (processo entre semeadura e emergência). O milho, durante a germinação, mantém a semente sob a superfície do solo (natureza hipógea do processo germinativo). Assume-se que em condições favoráveis, a emergência ocorre entre 6 e 8 dias após a semeadura. Cerca de sete dias após a emergência, a planta apresenta duas folhas completamente expandidas, iniciando assim o período com saldo positivo de carboidrato (EMBRAPA, 2004; FANCELLI, 1986, 1988, 1994, 1995; LIMA, 1995; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

No estágio 1, a partir desse momento, ocorre a diferenciação do meristema apical, cujas estruturas ainda se encontram abaixo da superfície do solo. A raiz apresenta pêlos absorventes e ramificações diferenciadas. O maior ou menor crescimento da raiz depende do suprimento de carboidratos na primeira metade da fase vegetativa, iniciando no estágio 1. Apesar das características adaptativas, anatômicas e funcionais observadas na parte aérea da planta, a profundidade e o tipo de ramificação das raízes são fundamentais para tolerância à seca

(KRAMER, 1974). O desenvolvimento do sistema radicular está associado ao desenvolvimento da parte aérea (LOOMIS; WILLIAMS, 1963). A partir desse estágio, inicia o processo de diferenciação floral, o qual origina os primórdios da panícula e da espiga, bem como define o potencial de produção (EMBRAPA, 2004; FANCELLI, 1986, 1988, 1994, 1995; LIMA, 1995; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

No estágio 2, a partir desse momento, há o crescimento do colmo em diâmetro e comprimento e a formação da inflorescência masculina. O colmo atua como suporte de folhas e inflorescências, e estrutura destinada ao armazenamento de sólidos solúveis que serão utilizados posteriormente na formação dos grãos (EMBRAPA, 2004; FANCELLI, 1986, 1988, 1994, 1995; LIMA, 1995; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

No estágio 3, freqüentemente ocorre na sexta à sétima semana após a emergência, sendo caracterizado pela presença de 85%-90% da área foliar. A partir desse momento, há alta taxa de crescimento do colmo, pendão e espiga, podendo ocorrer a perda das quatro folhas mais velhas. O número potencial de grãos é determinado entre os estádios 3 e 5 (EMBRAPA, 2004; FANCELLI, 1986, 1988, 1994, 1995; LIMA, 1995; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

A partir do estágio 4, o desenvolvimento da planta coincide com a 8<sup>a</sup>/9<sup>a</sup> semana após a emergência, caracterizada pelo aparecimento parcial do pendão e pelo crescimento acentuado dos estilo-estigmas da espiga. Quando foi efetuada a remoção do pendão e das duas folhas superiores, observou-se a redução da produção de grãos da ordem de 9,2% (CANTRELL; GEADELMANN, 1981). Alguns genótipos se encontram mais sujeitos ao estresse abiótico, apresentando porcentagem considerável de espigas mal granadas e desuniformes (PATERNIANI; VIEGAS, 1987). A emissão da inflorescência masculina antecede de 2 a 4 dias a exposição dos estilo-estigmas. Porém, 75% das espigas devem apresentar seus estilo-estigmas expostos, após o período de 10 a 12 dias posterior ao aparecimento do pendão (FERRAZ, 1966; EMBRAPA, 2004; FANCELLI, 1986, 1988, 1994, 1995; LIMA, 1995; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

No estágio 5, durante a 9<sup>a</sup>/10<sup>a</sup> semana após a emergência das plantas, inicia-se o florescimento, cessando as elongações do colmo e dos internódios. A partir desse estágio, as espigas expõem os estilo-estigmas que crescem até a polinização, dando seqüência ao processo de fecundação do óvulo. O estilo-estigma aparece durante período aproximado de 3 a 5 dias, sendo receptivos imediatamente após a sua emissão, podendo assim permanecer por até 14 dias.

O período de dispersão pode durar 14 dias, embora períodos mais curtos (5 a 8 dias) sejam mais comuns (ROBSON, 1981). A longevidade do grão de pólen é reduzida quando submetido à baixa umidade e altas temperaturas (DE WIT, 1965, 1982; GOUDRIAAN; LAAR, 1992, 1994). A polinização do milho é predominantemente realizada pelo vento, de forma a vencer distâncias aproximadas de até 500 m. A fertilização ocorre 12 a 36 horas após a polinização (EMBRAPA, 2004; FANCELLI, 1986, 1988, 1994, 1995; LIMA, 1995; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

No estágio 6, o qual ocorre 12 a 15 dias após o início da polinização, é caracterizado pelo início do processo de acúmulo de amido no endosperma dos grãos. O aumento de massa do grão ocorre devido a translocação dos sintetizados presentes nas folhas e no colmo para a espiga e grãos em formação, cuja eficiência, além de ser importante para a produção, é extremamente dependente da disponibilidade de água (ALLISON; WATSON, 1966). Estresse abiótico nesse período ocasiona redução da fotossíntese reduzindo a taxa de acúmulo de matéria seca do grão, além de favorecer a incidência de doenças de colmo (NEL; SMIT, 1978; THORNLEY, 1998; EMBRAPA, 2004; FANCELLI, 1986, 1988, 1994, 1995; LIMA, 1995; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

No estágio 7, 20 a 25 dias após a emissão dos estilo-estigmas, as sementes continuam se desenvolvendo. Há acentuada deposição de amido, caracterizando o período de ganho de peso por parte do grão. A ocorrência de adversidades climáticas, principalmente déficit hídrico, acarreta maior porcentagem de grãos pequenos e pouco densos (EMBRAPA, 2004; FANCELLI, 1986, 1988, 1994, 1995; LIMA, 1995; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

No estágio 8, esse momento ocorre aos 36 dias após o princípio da polinização, sendo caracterizado pelo aparecimento da concavidade na parte superior do grão, comumente designada de “dente”. Nesta etapa, os grãos se encontram em fase de transição, do estado pastoso para o farináceo, tornando-se cada vez mais endurecidos. Esse momento é o ideal para efetuar o corte de milho para silagem (PEDREIRA; MELLO; OTANI, 2001), pois as plantas apresentam entre 33 e 37% de matéria seca e os grãos se encontram no estado farináceo-duro (EMBRAPA, 2004; FANCELLI, 1986, 1988, 1994, 1995; LIMA, 1995; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

No estágio 9, 48 a 55 dias após a emissão dos estilo-estigmas, todos os grãos se encontram “dentados”, além de se constatar acelerada perda de água em toda a planta.



No estágio 10, 50 a 60 dias após o início da polinização, evidencia-se a paralização total de acúmulo de matéria seca nos grãos, coincidindo com o processo de senescência natural das folhas das plantas, as quais gradativamente começam a perder a sua coloração verde característica. Esse estágio é caracterizado pela máxima massa de matéria seca dos grãos e máximo vigor das sementes, sendo facilmente reconhecido pela presença da “camada negra”, formada no ponto de inserção do grão com o sabugo (umidade do grão em torno de 30-38%). A colheita é realizada quando os grãos de milho apresentam teor de água entre 18 e 25%. Os grãos perdem gradativamente água, atingindo em 25 a 35 dias o teor de água em torno de 18 a 22% (EMBRAPA, 2004; FANCELLI, 1986, 1988, 1994, 1995; LIMA, 1995; FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

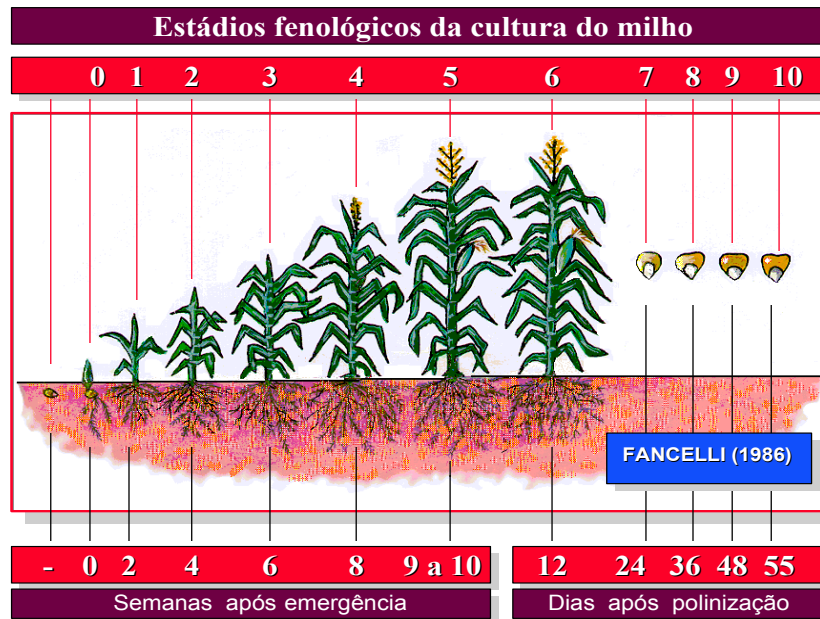


Figura 1 - Estádios de desenvolvimento da cultura de milho (NEL; SMIT, 1978 apud FANCELLI, 1986)

## 2.4 Fisiologia da produção

É muito conhecido que várias poáceas tropicais (metabolismo do tipo  $C_4$ ) apresentam taxas de fotossíntese bruta máxima muito maiores do que poáceas de clima temperado (metabolismo do tipo  $C_3$ ) ou do que a maioria das outras espécies, justificadas principalmente pela diferença da atividade enzimática e da anatomia entre elas. O ciclo de Hatch-Slack (ciclo do carbono em plantas  $C_4$ ) (HATCH; SLACK, 1966) apresenta o ácido oxaloacético (AOA) (possui quatro átomos de carbono) como primeiro composto formado após a fixação do  $CO_2$ .

Tanto nas espécies de metabolismo  $C_3$  quanto nas de  $C_4$ , a reação de fixação do  $CO_2$  primário ocorre nos cloroplastos e nas células do mesófilo. Nas plantas  $C_4$ , o  $CO_2$  é fixado pela enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPCase) no citoplasma do mesófilo e convertido em AOA, o qual é reduzido a malato ou transaminado a aspartato. Posteriormente, há o transporte para as células da bainha vascular, onde o  $CO_2$  é gerado por descarboxilação e refixado pela enzima Rubisco no ciclo de Calvin. Nas poáceas de clima temperado ( $C_3$ ), uma molécula de  $CO_2$  combina com uma molécula de bifosfato ribulose, por intermédio da ação catalítica da enzima RUBP-carboxilase, originando duas moléculas de 3-fosfoglicerato (TAIZ; ZEIGER, 1998, 2004; BARROS, 1998).

Uma das principais vantagens da via  $C_4$  é que ela conduz a uma redução na sensibilidade a baixas concentrações intracelulares de  $CO_2$ . Dessa forma, plantas  $C_4$  são mais capazes de continuar a fixação de carbono quando os estômatos começam a se fechar, em função de fatores como seca, por exemplo; e, portanto se caracterizam como mais eficientes que as plantas  $C_3$  até mesmo em termos de eficiência do uso da água; e suas vantagens são mais evidentes em ambientes com temperaturas e intensidades de luz mais elevadas (ROBSON, 1981).

As poáceas  $C_4$  possuem anatomia foliar muito semelhante às poáceas  $C_3$ . A diferença é que nas poáceas tropicais  $C_4$  verifica-se a existência de cloroplastos nas células da bainha vascular, que podem ser simples ou dupla. As células dessas estruturas são muito grandes em relação às do mesófilo, e contêm cloroplastos especializados que diferem dos plastídios do mesófilo, por serem maiores e por sintetizarem amido em fotoperíodo normal, além de muitas vezes possuírem tamanhos de grana reduzidos. Em torno das células da bainha vascular clorenquimática, as do mesófilo estão arranjadas radialmente de modo que cada célula do mesófilo esteja em contato direto com uma célula da bainha vascular (JAME; CUTFORTH, 1996; PORTES et al., 2000).

Essa anatomia é essencial para o funcionamento da via  $C_4$ . Ela proporciona o funcionamento do mecanismo concentrador de gás  $CO_2$ , o qual é primeiramente fixado pela via  $C_4$  nas células do mesófilo, mais externamente, e é então transportado para as células da bainha vascular, onde sua concentração alcança valores altos, quando comparados à concentração atmosférica. É nesse local que o  $CO_2$  é transformado em açúcar pela via  $C_3$ . Esse mecanismo concentrador de  $CO_2$  inibe a fotorrespiração nas plantas  $C_4$ , mecanismo pelo qual poáceas  $C_3$

utilizariam em favor de sua própria sobrevivência, devido ao excesso de energia (LARCHER, 2000).

## **2.4.1 Elementos do clima e fatores da planta que afetam produtividade**

### **2.4.1.1 Radiação solar**

A radiação solar é um dos fatores que mais limitam o crescimento e desenvolvimento das plantas. A radiação solar origina toda a energia necessária para a transformação do dióxido mcarbono da atmosfera em energia metabólica (TAIZ; ZIEGER, 2004).

A radiação solar que chega até a superfície terrestre pode ser separada em duas fases, uma quando a radiação é direta e a outra é chamada de difusa, que é refletida ou espalhada por nuvens e pela atmosfera (GOUDRIAAN; van LAAR, 1994). Cada uma dessas fases pode ser dividida mais duas vezes, que são chamadas de bandas, a primeira é a de baixo comprimento de onda (inferior a 3000 nm) e a segunda é a radiação térmica (superior a 3000 nm). Quando se analisa em separado a radiação de baixo comprimento de onda, separa-se esta também em bandas que possuem diferentes efeitos sobre as plantas. A faixa da radiação visível varia de 400 a 700 nm, e são especialmente estudadas na área agrônômica, devido ser em radiações fotossinteticamente ativas (KUBINS, 1971).

Somente a presença de radiação solar não é suficiente para a produção de fitomassa seca, os relevantes são a percentagem de radiação que é fotossinteticamente ativa interceptada e a eficiência de utilização dessa energia pelo processo fotossintético (SHIBLES; WEBER, 1965, 1966).

### **2.4.1.2 Temperatura**

A temperatura é um dos principais fatores de produção para o desenvolvimento da planta de milho. Locais que apresentam temperatura média diária inferior a 19°C, e noites com temperaturas médias abaixo de 13°C, não são recomendadas para a cultura de milho. Quando a temperatura do solo é inferior a 10°C ou superior a 42°C, a emergência de plântulas é reduzida. As temperaturas entre 25 e 30°C são favoráveis à rápida germinação e emergência das plântulas vigorosas. Valores médios diários de temperatura superiores a 26°C tendem a diminuir a duração do ciclo. Por outro lado, valores de temperatura inferiores a 16°C aumentam a duração ciclo. Temperatura abaixo e acima da temperatura ótima contribui para a redução da fotossíntese líquida, diminuindo assim a produtividade (BERGER, 1962).

Temperaturas noturnas elevadas, superiores a 24°C, promovem um consumo energético demasiado, em função do incremento da respiração, ocasionando menor saldo de fotoassimilados, com conseqüente queda da produtividade. Temperaturas superiores a 32°C reduzem a germinação do grão de pólen. Assume-se que a temperatura basal (temperatura abaixo da qual não há acúmulo de massa de matéria seca e, conseqüentemente, a planta não cresce) da espécie *Zea mays* L. é de 10°C (BERLATO; SUTILI, 1976; BERLATO; MATZENAUER; SUTILI, 1984).

O milho acumula quantidades de energia, que são designadas como unidades calóricas, unidades térmicas de desenvolvimento ou graus-dia, o qual é definido como a diferença entre a temperatura média diária e a temperatura basal exigida por uma espécie (VILLA NOVA et al., 1972), e seu desenvolvimento responde, geralmente, com maior precisão, a esse acúmulo, do que ao calendário em dias (PEREIRA, 2002).

#### **2.4.1.3 Luz**

A energia solar que atinge a Terra é constituída por um conjunto de radiações denominado de espectro solar. A radiação fotossinteticamente ativa é aquela que induz resposta no processo da fotossíntese, e está relacionada aos limites de 400 a 700 nm. As radiações de valor fisiológico, presentes no espectro usado na fotossíntese, são absorvidas, primariamente, pela clorofila e, em seguida, utilizada na transformação de CO<sub>2</sub> em carboidratos. O pigmento primário, a clorofila *a*, é um composto de cadeia tetra-pirrólica unida ao íon magnésio, a qual encontra-se concentrada nos grana dos cloroplastos. A clorofila *b* (pigmento acessório) possui estrutura semelhante, porém seu teor corresponde a 1/3 da clorofila *a*, na maioria dos vegetais. Com relação à luz, a cultura de milho responde a crescentes intensidades luminosas, em virtude de pertencer ao grupo de plantas de metabolismo C<sub>4</sub>, o que lhe confere alta produtividade biológica (FERRAZ, 1966).

Havendo uma redução de 30 a 40% da intensidade luminosa, há um atraso na maturação dos grãos na cultura de milho, principalmente em genótipos tardios, que se mostram mais sensíveis à falta de luz. A maior sensibilidade à variação de luminosidade é verificada no início da fase reprodutiva (período que correspondente de 10 a 15 dias após o florescimento). Nessa fase, a redução da disponibilidade de luz ocasiona a redução da massa específica de grãos. A disponibilidade de luz é também reduzida pela presença de estruturas não fotossintetizadoras, como as panículas que podem interceptar até 9% da radiação luminosa em lavouras apresentando 50.000 plantas por ha (DUNCAN; WILLIAMS; LOOMIS, 1967).

Assim, o aproveitamento efetivo da luz por parte do milho é decisivamente influenciado pela distribuição espacial das plantas na área, pelo arranjo das folhas na planta e pela extensão da área foliar presente. Evidências experimentais têm demonstrado que, quando o índice de área foliar é baixo, plantas com arquitetura foliar horizontal são mais eficientes no acúmulo de massa de matéria seca. Em contrapartida, plantas com folhas mais eretas podem contribuir significativamente para o incremento da produtividade biológica, em função do aumento da área foliar por unidade de terreno (MAGALHÃES; SILVA, 1978). Ainda, o aproveitamento efetivo do espectro solar pode ser incrementado pela melhor distribuição espacial de plantas na área, mediante combinações adequadas, o espaçamento entre linhas e o número de plantas, não excedendo a população de 65.000 plantas por hectare (FANCELLI, 1986, 1994).

## **2.4.2 Processos fisiológicos que afetam produtividade**

### **2.4.2.1 Coeficiente de extinção**

O coeficiente de extinção luminosa ( $k$ ) mostra a fração de radiação atenuada ao longo do dossel da planta devido à menor transmissividade luminosa (CORRÊA, 2008).

Para a cultura de soja, os valores do índice de área foliar para interceptar 95% da radiação é em torno de 3,9 (SCHÖFFEL; VOLPE, 2001; PEREIRA, 2002). Esses autores indicaram que o coeficiente de extinção luminosa correspondente ao valor ótimo do índice de área foliar é em torno de 0,72. Corrêa (2008) cita que resultados similares foram encontrados por Azam-Ali, Crout e Bradley (1994) (entre 0,45 e 0,96), Procópio et al. (2003) (entre 0,52 e 0,93), Spaeth et al. (1987) (0,48), Confalone e Navarro (1999) (entre 0,75 e 0,99), Sinclair (1991) (0,6) e Boons-Prins et al. (1993) (0,5).

### **2.4.2.2 Eficiência de utilização de radiação**

Moreira, Angulo Filho e Rudorff (1999) encontraram valores de eficiência do uso da radiação em trigo, submetido a estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento, variando de 1,83 a 2,34 g.MJ<sup>-1</sup> (sem estresse hídrico).

A eficiência do uso da radiação de cultura (g.MJ<sup>-1</sup>) é uma variável derivada da relação da massa de matéria seca acumulada da cultura (g.m<sup>-2</sup>) e da radiação interceptada pelo dossel vegetal num dado intervalo de tempo (ROMANO, 2005).

A eficiência do uso da radiação é uma medida independente que pode ser usada para descrever o desempenho de culturas e destacar limitações na produtividade. A eficiência do uso

da radiação é relacionada linearmente com a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (MONTEITH, 1977; BISCOE; GALLAGHER, 1977).

Para efeito de cálculo, a radiação fotossinteticamente ativa representa 40 a 50% do total da radiação solar direta coletada pelos solarímetros, ou seja, a radiação possível de ser interceptada pelas folhas. Essa estimativa já inclui a presença da radiação difusa. De acordo com o teor de clorofila nas folhas, a radiação absorvida pelas plantas pode representar de 80 a 90% da radiação interceptada (ROMANO, 2005).

Teoricamente, a eficiência do uso da radiação depende da taxa de assimilação de dióxido de carbono pelas folhas. O incremento na eficiência do uso da radiação está diretamente ligado ao incremento da taxa de fotossíntese foliar. A eficiência do uso da radiação é alterada substancialmente pela fotossíntese máxima e a eficiência quântica é pouco alterada pelas diferenças de altitude, latitude, época do ano, ângulo foliar e índice de área foliar (SANDS, 1996).

Análises teóricas das potenciais fontes de variação entre locais são atribuídas à radiação solar e à fração de radiação difusa (SINCLAIR; MUCHOW, 1999). A temperatura pode influenciar a eficiência do uso da radiação (SANDS, 1996).

As espécies  $C_4$  apresentaram maiores valores de eficiência do uso da radiação que espécies  $C_3$  (GOSSE et al., 1986).

A eficiência do uso da radiação decresce linearmente com a diminuição da temperatura média (faixa de 21 a 16°C) (ANDRADE et al., 1992; ANDRADE; UHART; CIRILO, 1993). A eficiência do uso da radiação máxima em milho ocorre durante o crescimento vegetativo, e há uma tendência para decréscimo durante o enchimento de grãos associado com a mobilização do nitrogênio foliar para o grão (MUCHOW; DAVIS, 1988).

Os valores médios para eficiência do uso da radiação para milho de acordo com diversos trabalhos de literatura situam-se entre 3,2 a 3,4 g.MJ<sup>-1</sup> de radiação fotossinteticamente ativa interceptado para o período vegetativo e 2,6 a 3,4 g.MJ<sup>-1</sup> de radiação fotossinteticamente ativa interceptado para todo o ciclo da cultura (SINCLAIR; MUCHOW, 1999).

A influência da assimilação de dióxido de carbono na eficiência do uso da radiação é resultado da ligação entre área foliar e teor de nitrogênio na folha. O nitrogênio influencia o crescimento e o desenvolvimento das culturas pelos seus efeitos na variação temporal da área foliar e na capacidade fotossintética (EVANS, 1989; ROMANO, 2005).

A variação da máxima área foliar está diretamente associada com as trocas no teor de nitrogênio por unidade de área foliar (g de nitrogênio por m de folha). Há uma relação hiperbólica entre eficiência do uso da radiação e teor de nitrogênio por unidade de área foliar, com uma grande sensibilidade de eficiência do uso da radiação aos baixos níveis de teor de nitrogênio por unidade de área foliar (SINCLAIR; HORIE, 1989).

A cultura de amendoim confirma a relação hiperbólica entre eficiência do uso da radiação e teor de nitrogênio por unidade de área foliar (MUCHOW; SINCLAIR; BENNETT, 1990).

A eficiência do uso da radiação decresce linearmente quando teor de nitrogênio por unidade de área foliar foi reduzido de 1,65 para 1,18 g N.m<sup>-2</sup> em plantas de amendoim cultivadas em diferentes níveis de nitrogênio (WRIGHT; BELL; HAMMER, 1993).

A relação entre eficiência do uso da radiação e o teor de nitrogênio na folha de milho e de sorgo apresenta uma saturação na resposta de eficiência do uso da radiação pelo incremento do conteúdo de nitrogênio foliar (MUCHOW; SINCLAIR, 1994).

#### **2.4.2.3 Fotossíntese bruta**

O crescimento dos vegetais resulta primeiramente da divisão mais a expansão celular, sendo que ambos os processos são comandados por hormônios, especialmente pela citocinina (envolvida diretamente na divisão celular) e pela auxina (importante no afrouxamento das paredes da célula). O êxito na expansão celular acontece devido à pressão hidrostática originada pela diferença de gradiente de potencial osmótico entre o interior e o exterior celular, o que vem a proporcionar uma demanda de substâncias sintetizadas a partir dos açúcares formados na fotossíntese, os quais irão participar da formação de um novo material estrutural (HEEMST, 1986; TAIZ; ZEIGER, 1998, 2004).

Por sua vez, os produtos fotossintetizados são os resultados da incorporação de energia luminosa ao CO<sub>2</sub> atmosférico, pelo processo fotoquímico desencadeado nos pigmentos presentes nas membranas dos tilacóides. Essa energia é utilizada para reduzir o carbono do CO<sub>2</sub> assimilado para formação de carboidratos, processo relativamente ineficiente onde apenas 1 a 2% da energia luminosa que chega a superfície pode efetivamente ser utilizada no acúmulo posterior do dossel (BERNARDES, 1987; HODGSON, 1990; LARCHER, 2000), sendo que os determinantes do acúmulo dessa energia são: (i) quantidade de energia incidente (função das condições de insolação e irradiância; (ii) eficiência com que a luz solar é interceptada pelas folhas do relvado (dependente da idade da planta, da arquitetura foliar, do arranjo espacial da população

de plantas); e dependentes da temperatura e do equilíbrio hídrico e nutricional, (iii) eficiência inerente ao próprio processo fotossintético; (iv) quantidade de energia (moléculas orgânicas) transportadas para as partes úteis da planta (partição de assimilados) e (v) metabolismo das partes úteis da planta (eficiência de utilização).

A energia capturada e transferida ao CO<sub>2</sub> desencadeará a biossíntese das grandes moléculas formadoras das plantas, tais como proteínas, carboidratos, lipídios, e também outras ricas em energia, totalizando a fitomassa. Em poáceas forrageiras tropicais, esta é normalmente formada por até 95% de compostos cujo o esqueleto é constituído de átomos de carbono (proveniente do CO<sub>2</sub> fixado na fotossíntese), e sendo o restante (especialmente por N e K) formado por elementos químicos procedentes da solução do solo (da cinza resultante da queima de matéria orgânica que nele ocorre), conforme elucidado em PORTES et al. (2000).

#### **2.4.2.4 Respiração**

Na presença ou na ausência de luz, simultaneamente à fotossíntese ocorre a respiração, que é considerada a oxidação dos produtos já fotossintetizados. Entretanto, esse processo metabólico não pode ser considerado como uma perda, visto que é isso que responsabiliza algumas estruturas de reserva da planta a liberarem o ATP e os redutores NADH e FADH, os quais irão fazer parte de várias reações bioquímicas necessárias à planta, bem como de uma série de substâncias intermediárias que servirão de precursoras na síntese das substâncias essenciais ao crescimento da mesma (SALISBURY; ROSS, 1991).

O balanço entre os dois processos, dado pela diferença entre fotossíntese bruta e respiração, irá resultar a fotossíntese líquida, indicando se cada planta estará perdendo ou acumulando massa. Fotossíntese líquida positiva significa que a planta está fixando mais CO<sub>2</sub> do que perdendo pela respiração. Em situações onde a fotossíntese líquida é nula, o acúmulo líquido é também zero, evento conhecido como ponto de compensação, que pode ser por luz ou por CO<sub>2</sub>. Como a concentração de CO<sub>2</sub> é normalmente constante ao longo do ano, a luz passa a ser o fator determinante no equilíbrio entre os dois processos (PORTES et al., 2000).

A produtividade potencial pode ser quantificada por intermédio da massa de carboidrato que um dado genótipo consegue produzir por área em um determinado tempo (kg.ha<sup>-1</sup>.ciclo<sup>-1</sup>). A respiração é o processo pelo qual compostos altamente energéticos são sintetizados a partir dos carboidratos produzidos na fotossíntese, podendo ser ainda dividida, teoricamente, em respiração de crescimento e de manutenção. A respiração de crescimento é definida como a produção de



novos compostos orgânicos, enquanto a de manutenção consiste na realocação de outros compostos existentes e está relacionada com o consumo de energia para manter a organização estrutural da planta (FIGUEREDO JÚNIOR, 2004).

#### **2.4.2.5 Partição de fotoassimilados**

O estudo da partição de fotoassimilados na planta é essencial para descrever o destino do carbono e estabelecer os princípios fisiológicos que regem a produtividade, sendo portanto muito importante para a tomada de decisão (PEDREIRA; MELLO; OTANI, 2001).

A translocação de carboidratos é realizada sempre no sentido “da fonte para o dreno”, sendo que todos os órgãos das plantas, em algum estágio de acúmulo, funcionam como dreno e, apenas alguns órgãos (folhas completamente expandidas) passam de dreno para fonte (TAIZ; ZEIGER, 1998, 2004).

O balanço entre fotossíntese e respiração promove a geração de uma certa quantidade de carbono (C), sendo que uma quantidade é fixada e outra fica disponível para a formação da biomassa vegetal, que será então alocada às diferentes estruturas da planta (folhas, colmos, raízes e reservas), de acordo com uma ordem de prioridade, ditada pelas ofertas do meio externo e pela demanda interna da planta. Numa condição de disponibilidade de água, nutrientes e radiação solar não limitante, a prioridade de alocação do C numa poácea obedece a seguinte ordem: (a) folha, (b) colmos, (c) perfilhos, (d) raízes e (e) reservas. Ressalta-se que muito mais carbono é alocado para a formação de folhas devido à necessidade da planta ter que investir no recurso mais importante, ou seja, a radiação solar (NABINGER, 2002).

Em condição de deficiência hídrica ou de nitrogênio, a proporção de carbono alocado ao sistema radicular é maior em relação à parte aérea, devido à necessidade da planta ter que investir na busca dos recursos mais escassos, ou seja, água e nitrogênio. Portanto, em solos de alta fertilidade, plantas que são capazes de alterar sua partição interna em favor da parte aérea são favorecidas (PEDREIRA; MELLO; OTANI, 2001).

Para que haja saldo de carbono a ser alocado para o sistema radicular em situação adversa, a planta altera a partição, e acaba penalizando a alocação às estruturas da parte aérea (alongamento de colmos e tamanho de folhas). Isso faz com que a biomassa da parte aérea seja extremamente dependente das condições do meio que determinam a quantidade de carbono ofertado, e que também determinam as modificações no coeficiente de partição. A formação e

duração das folhas que compõem a área de interceptação de luz traduz-se no índice de área foliar (NABINGER, 2002).

A partição dos fotoassimilados é função principalmente do genótipo e das relações de fonte-dreno (DOURADO NETO, 1999). O índice de colheita, ou seja, a fração de interesse produzida em relação à massa de matéria seca total da planta pode indicar a habilidade desse genótipo em combinar produtividade e destinar massa de matéria seca acumulada aos componentes de interesse econômico (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

#### **2.4.2.6 Senescência**

Após o florescimento, a planta conta com um número relativamente constante de folhas verdes, começando a desencadear os processos fisiológicos que determinam a senescência das folhas (HODGSON, 1990), caracterizada por perdas de RNA, clorofila, proteínas e enzimas, com eventual cessamento do metabolismo ativo.

A senescência tem sido objeto de estudo tanto para folhas, como para perfilhos e raízes, e uma característica importante no caso foliar é a mudança na atividade enzimática. Enzimas envolvidas na assimilação (nitrato-redutase) têm sua atividade diminuída, enquanto que aquelas envolvidas com degradação (peptídeo-hidrolase) aumentam a atividade (FELLER; KEIST, 1986).

Nutrientes móveis, como o nitrogênio, são parcialmente remobilizados das folhas senescentes e translocados via floema para outras partes da planta, resultando em declínio na concentração de nitrogênio nas folhas, durante a senescência. Entretanto, durante os estágios posteriores da senescência, haverá uma desintegração dos tecidos membranosos, restringindo translocações adicionais de nitrogênio no floema. No campo, poáceas em crescimento apresentam geralmente nas folhas verdes o dobro da concentração de N das folhas mortas, existindo, contudo evidências de que, quando folhas maduras senescem rapidamente (devido a um estresse hídrico, por exemplo), elas retêm grande proporção de nitrogênio (HILL, 1980).

Em todas as espécies (anuais e perenes), há uma contínua taxa de renovação de folhas e do sistema radicular. Apesar das mudanças do metabolismo envolvidos na senescência serem programadas geneticamente, o tempo para que haja a senescência, bem como sua progressão, é fortemente influenciado por fatores como disponibilidade de nutrientes, intensidade de luz e disponibilidade hídrica (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996).

## 2.5 Modelo LINTUL

Segundo Corrêa (2008), Spitters e Schapendonk, na década de 90, propuseram um modelo para simular o crescimento e a produtividade de diferentes culturas por intermédio do software SUCROS (*Simple and Universal CROp growth Simulator*), em que a fotossíntese foi considerada, incorporando apenas os processos determinantes que mais afetam o crescimento das culturas. Mais tarde, esse software foi denominado LINTUL (BOUMAN et al., 1996).

Segundo Corrêa (2008), no modelo LINTUL, a produção de matéria seca é calculada usando relações lineares entre a produção de biomassa e a quantidade de radiação interceptada pela cultura (MONTEITH, 1972), crescidas sob adequadas condições de disponibilidade de água e nutrientes, na ausência de pragas, de doenças e de plantas daninhas. Essa relação determina um limite finito para o potencial de produtividade, que também pode ser modelado sem entrar em descrições detalhadas do processo de fotossíntese e respiração. O total de biomassa formado é dividido em raiz, caule (colmo, no caso específico da planta de milho), folha e órgão reprodutivo (grãos, principalmente) (SPITTERS; SCHAPENDONK, 1990), usando frações de alocação de fotoassimilados definidas em função do desenvolvimento relativo da cultura (associado ao estágio de desenvolvimento fenológico).

Segundo Corrêa (2008), as simulações correm na escala diária, com integração linear das taxas. As informações necessárias ao modelo incluem parâmetros fisiológicos da cultura, e os valores de temperatura do ar (temperatura máxima e mínima) e radiação solar global.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização climática

Os valores dos elementos do clima radiação solar global ( $Q_g$ ,  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ), temperatura do ar máxima ( $T_{mx}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) e temperatura do ar mínima ( $T_{mn}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), durante a condução do experimento (20 de setembro de 2003 a 16 de fevereiro de 2004), estão descritos nas Tabelas 4 a 9 e na Figura 2.

Tabela 4 - Valores diários de radiação solar global ( $Q_g$ ,  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ), temperatura do ar máxima ( $T_{mx}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura do ar mínima ( $T_{mn}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) referentes ao período de 20 a 30 setembro de 2003. Estação convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP

Dia	$T_{mx}$	$T_{mn}$	$Q_g$
20	33,4	16,3	21,02
21	31,5	14,9	20,47
22	36,0	14,1	20,31
23	36,8	15,4	18,17
24	37,5	17,0	17,84
25	33,8	17,4	14,32
26	26,3	18,4	7,12
27	24,9	16,5	9,50
28	32,2	15,1	22,82
29	29,8	17,3	13,94
30	31,2	15,8	20,31

Tabela 5 - Valores diários de radiação solar global ( $Q_g$ ,  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ), temperatura do ar máxima ( $T_{mx}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura do ar mínima ( $T_{mn}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) referentes ao período de 1 a 31 de outubro de 2003. Estação convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP

Dia	$T_{mx}$	$T_{mn}$	$Q_g$
1	34,2	13,8	20,10
2	34,1	15,2	22,40
3	34,6	16,6	22,94
4	35,6	16,0	22,19
5	32,4	19,5	15,57
6	26,0	20,8	4,14
7	28,8	17,6	16,83
8	33,4	17,4	15,70
9	27,6	17,5	2,39
10	18,6	14,3	3,56
11	25,0	13,0	17,33
12	28,0	14,3	23,57
13	26,4	12,6	22,48
14	27,7	11,5	23,07
15	28,4	12,1	23,74
16	31,4	10,5	26,50
17	33,9	14,1	24,66
18	35,2	16,5	22,15
19	30,8	18,5	16,83
20	29,0	18,6	8,54
21	29,6	18,2	17,08
22	28,6	18,4	14,36
23	32,2	18,1	22,32
24	33,8	18,1	23,07
25	34,9	20,2	18,97
26	23,9	19,3	4,77
27	23,1	17,4	9,13
28	28,5	17,1	16,24
29	30,4	17,3	22,02
30	31,4	16,5	24,83
31	34,2	13,8	20,10

Tabela 6 - Valores diários de radiação solar global ( $Q_g$ ,  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ), temperatura do ar máxima ( $T_{mx}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura do ar mínima ( $T_{mn}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) referentes ao período de 1 a 30 novembro de 2003. Estação convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP

Dia	$T_{mx}$	$T_{mn}$	$Q_g$
1	25,1	14,6	21,06
2	26,7	11,7	25,00
3	29,0	13,5	15,91
4	27,8	16,4	16,16
5	29,8	16,4	20,93
6	30,5	14,3	27,42
7	32,7	16,9	25,83
8	35,5	17,6	19,18
9	36,8	17,2	17,92
10	36,9	21,6	20,93
11	25,0	20,4	7,12
12	28,5	19,4	20,26
13	31,8	16,4	26,71
14	32,9	19,4	25,29
15	29,5	19,6	8,71
16	29,8	19,9	12,56
17	25,7	20,5	11,30
18	29,5	16,0	29,68
19	27,6	17,3	20,14
20	30,6	17,3	24,53
21	29,4	18,9	18,00
22	27,8	19,1	6,62
23	32,0	18,6	21,94
24	28,7	20,0	15,45
25	31,7	19,4	17,71
26	24,3	20,8	11,30
27	29,9	17,9	23,66
28	31,6	16,5	21,52
29	25,1	14,6	21,06
30	26,7	11,7	25,00

Tabela 7 - Valores diários de radiação solar global ( $Q_g$ ,  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ), temperatura do ar máxima ( $T_{mx}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura do ar mínima ( $T_{mn}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) referentes ao período 1 a 31 de dezembro de 2003. Estação convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP

Dia	$T_{mx}$	$T_{mn}$	$Q_g$
1	32,8	20,3	20,18
2	29,5	21,3	12,69
3	28,3	22,0	13,73
4	30,0	20,2	17,88
5	28,6	19,7	15,70
6	30,9	20,3	19,59
7	23,0	19,0	4,65
8	30,2	16,2	14,07
9	34,0	21,7	22,86
10	26,5	18,2	12,02
11	31,2	18,2	26,33
12	34,0	19,4	23,82
13	35,0	20,7	17,17
14	35,2	21,0	16,83
15	27,0	20,0	18,84
16	29,1	18,9	21,73
17	31,8	18,3	21,35
18	32,6	19,8	23,36
19	32,6	19,7	19,85
20	31,5	20,1	19,34
21	29,1	19,3	19,47
22	26,1	17,6	23,28
23	29,5	16,2	27,00
24	30,5	18,2	26,08
25	30,7	18,1	25,54
26	32,0	17,8	26,17
27	30,6	18,9	20,56
28	32,1	19,8	22,73
29	29,1	20,3	10,30
30	32,8	20,3	20,18
31	29,5	21,3	12,69



Tabela 8 - Valores diários de radiação solar global ( $Q_g$ ,  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ), temperatura do ar máxima ( $T_{mx}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura do ar mínima ( $T_{mn}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) referentes ao período de 1 a 31 de janeiro de 2004. Estação convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP

Dia	$T_{mx}$	$T_{mn}$	$Q_g$
1	24,2	18,7	9,59
2	21,2	16,6	9,76
3	26,8	16,8	20,10
4	29,5	17,8	20,77
5	31,6	17,7	20,31
6	31,6	17,8	16,20
7	25,1	19,0	8,79
8	27,2	19,2	8,37
9	29,0	19,6	13,57
10	29,1	19,2	17,71
11	32,5	18,0	26,92
12	32,6	21,2	17,96
13	32,4	19,3	21,73
14	31,8	18,8	13,69
15	33,1	20,2	19,55
16	31,1	19,5	25,04
17	29,8	16,5	28,89
18	30,4	16,8	29,43
19	31,4	15,0	17,84
20	29,8	16,4	12,02
21	25,6	19,2	5,11
22	28,8	19,7	8,12
23	32,0	19,3	18,17
24	26,7	20,0	10,47
25	29,4	20,2	11,68
26	23,5	19,6	3,68
27	23,9	19,4	3,39
28	28,4	20,2	8,62
29	32,0	21,0	15,62
30	32,0	19,4	22,48
31	31,6	18,6	16,12

Tabela 9 - Valores diários de radiação solar global ( $Q_g$ ,  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ), temperatura do ar máxima ( $T_{mx}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura do ar mínima ( $T_{mn}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) referentes ao período de 1 a 16 de fevereiro de 2004. Estação convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP

Dia	$T_{mx}$	$T_{mn}$	$Q_g$
1	33,0	18,5	20,10
2	31,5	20,2	18,17
3	35,2	20,5	19,34
4	32,2	21,8	13,82
5	28,6	21,7	13,82
6	25,7	16,5	17,50
7	27,6	15,9	26,42
8	28,8	16,8	22,11
9	30,8	16,2	23,07
10	31,0	17,8	20,81
11	32,3	17,4	22,82
12	30,4	17,8	21,06
13	23,5	18,1	7,08
14	30,2	20,4	22,57
15	31,4	18,7	20,56
16	33,0	18,0	23,49

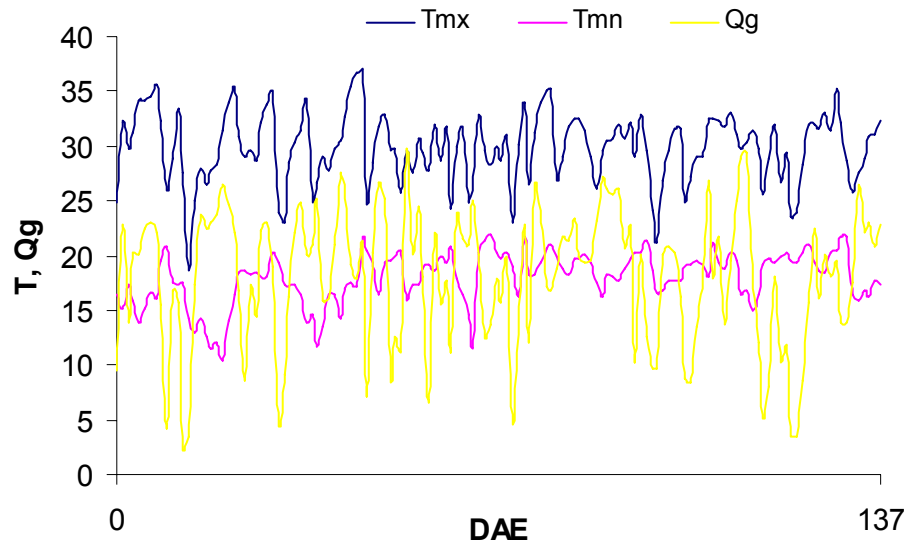


Figura 2 - Variação dos valores de temperatura (T, °C) máxima (Tmx) e mínima (Tmn) do ar e radiação solar global (Qg, MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>), em função do número de dias após a emergência (DAE), referentes ao período de setembro de 2003 a fevereiro de 2004. Estação convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP

### 3.2 Local e época de implantação do experimento

O experimento de campo foi conduzido entre 20 de setembro de 2003 (semeadura) e 16 de fevereiro de 2004 (última coleta), na área experimental da Universidade de São Paulo (Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"), em Piracicaba, estado de São Paulo, cuja localização geográfica é 22°42'30" de latitude Sul, 47°38'00" de longitude Oeste e 546 metros de altitude. A emergência ocorreu em 27 de setembro de 2003 (7 dias após a semeadura).

### 3.3 Tratos culturais

No sulco de semeadura, foi efetuada a adubação nitrogenada (30 kg.ha<sup>-1</sup> de N utilizando uréia), potássica (40 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O utilizando cloreto de potássio) e fosfatada (80 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizando superfosfato simples).

No estágio fenológico de 4 folhas foi efetuada a adubação de cobertura de 90 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio.

A umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo, com irrigação por aspersão utilizando um pivô central. A lâmina da água repostada foi calculada utilizando-se o modelo de Penman-Monteith, alimentado com dados da estação meteorológica da ESALQ - USP.

Foi efetuado o controle de plantas daninhas no início do ciclo com aplicação de herbicida e controle por intermédio de capinas manuais.

O controle de pragas e doenças foi efetuado durante todo o ciclo.

### **3.4 Genótipos, população, determinações e delineamento experimental**

Foram utilizados os seguintes genótipos de milho: (i) BRS-1001, (ii) BRS-1010 e (iii) BRS-3003. Foi utilizada uma população de 70.000 plantas por hectare com o espaçamento de 0,8 m entre linhas de plantas.

Foram feitas determinações de massa de matéria seca de raiz, colmo, folha e órgão reprodutivo, área foliar e produtividade final de grãos.

As obtenções dos dados fenométricos foram realizadas em cada coleta, iniciando no dia da emergência e estendendo-se até a colheita. Durante as coletas foram retiradas quatro plantas por parcela para avaliação da fitomassa seca e da área foliar.

Foi utilizado o delineamento estatístico em blocos casualizados com três tratamentos (genótipos) e quatro repetições. As parcelas experimentais possuíam as seguintes dimensões: 10 m de comprimento por 4,0 m de largura (área total por parcela: 40 m<sup>2</sup>).

### **3.5 Massa de matéria seca de raiz, colmo, folha e órgão reprodutivo**

No momento da coleta das plantas foi realizado a separação de suas raízes, folhas, colmo e órgãos reprodutivos. Posteriormente esses órgãos foram separados em sacos de papel individualizados, identificados e levados a estufa de secagem de ventilação forçada de ar a 65°C, até massa constante para a determinação da massa de matéria seca. O somatório de todos os órgãos resultou na massa matéria seca total das plantas. As pesagens foram realizadas em balança digital com precisão de 0,001 grama.

A massa de matéria seca de raiz, caule, folha e órgão reprodutivo de plantas de milho, referente aos genótipos utilizados (BRS-1001, BRS-1010 e BRS-3003), foi mensurada, com 4 repetições, em 24 diferentes datas de coleta ao longo do ciclo da cultura a saber: (i) 27 de setembro de 2003, (ii) 29 de setembro de 2003, (iii) 2 de outubro de 2003, (iv) 5 de outubro de 2003, (v) 8 de outubro de 2003, (vi) 9 de outubro de 2003, (vii) 10 de outubro de 2003, (viii) 13

de outubro de 2003, (ix) 16 de outubro de 2003, (x) 20 de outubro de 2003, (xi) 24 de outubro de 2003, (xii) 29 de outubro de 2003, (xiii) 4 de novembro de 2003, (xiv) 12 de novembro de 2003, (xv) 19 de novembro de 2003, (xvi) 26 de novembro de 2003, (xvii) 3 de dezembro de 2003, (xviii) 11 de dezembro de 2003, (xix) 16 de dezembro de 2003, (xx) 22 de dezembro de 2003, (xxi) 8 de janeiro de 2004, (xxii) 20 de janeiro de 2004, (xxiii) 2 de fevereiro de 2004 e (xxiv) 16 de fevereiro de 2004.

### 3.6 Área foliar

Durante a coleta das plantas foi determinada a área foliar por intermédio de um integrador de área foliar marca LI-COR modelo LI-3100C.

O índice de área foliar (IAF,  $m^2 \cdot m^{-2}$ ) foi determinado por intermédio da relação entre a área foliar (AF,  $m^2$ ) e a área de domínio da planta em relação ao solo (AS,  $m^2$ ):

$$IAF = \frac{AF}{AS} \quad (1)$$

### 3.7 Produtividade de grãos

A produtividade de grãos foi medida com 4 repetições para cada genótipo. Para tal, mediu-se a produtividade de grãos secos por metro linear ( $Pm$ ,  $g \cdot m^{-1}$ ) 10 vezes em cada parcela. Posteriormente, estimou-se a produtividade de grãos ( $P$ ,  $kg \cdot ha^{-1}$ ), corrigida para 13% de umidade ( $u = 0,13 g \cdot g^{-1}$ ) utilizando a seguinte equação:

$$P = \frac{10 \cdot Pm}{e \cdot (1 - u)} \quad (2)$$

em que  $e$  se refere ao espaçamento (m) entre linhas de plantas ( $e = 0,8$  m).

A área útil da parcela experimental possuía as seguintes dimensões: 8 m de comprimento por 2,4 m de largura (área total útil por parcela:  $19,2 m^2$ ).

### 3.8 Modelo LINTUL

Foi utilizado o modelo LINTUL (*Light INTerception and Utilization* - Interceptação e Utilização da Luz) para estimar a produtividade de milho.

Maiores detalhes referentes à descrição do modelo LINTUL podem ser obtidos em van Oijen e Leffelaar (2007, 2008) e em Corrêa (2008).

### 3.8.1 Parâmetros iniciais do modelo

Para estimativa da produtividade potencial da cultura de milho, tem-se os seguintes parâmetros iniciais do modelo: (i) coeficiente de extinção de luz; (ii) índice de área foliar crítico; (iii) índice de área foliar inicial; (iv) eficiência de utilização de radiação; (v) área foliar específica; (vi) temperatura basal inferior da cultura de milho; (vii) temperatura basal superior da cultura de milho; (viii) temperatura ótima inferior; (ix) temperatura ótima superior; (x) soma calórica referente à germinação (processo que inicia com a semente e finaliza na emergência); (xi) soma calórica referente à fase vegetativa (processo que inicia com a emergência e finaliza no florescimento); (xii) soma calórica referente à fase reprodutiva (processo que inicia com o florescimento e finaliza no ponto de maturidade fisiológica); (xiii) soma calórica total (emergência ao ponto de maturidade fisiológica); (xiv) crescimento inicial do índice de área foliar; (xv) produção inicial diária, por unidade de área, de massa de matéria seca total; (xvi) partição inicial de massa de matéria seca para a folha; (xvii) massa de matéria seca inicial de folha; (xviii) massa de matéria seca inicial de raiz e (xix) desenvolvimento relativo no dia da emergência e acumulado até o dia da emergência.

### 3.8.2 Temperatura média e soma térmica

Para o cálculo da soma térmica, tem-se que:

$$T_x = \frac{Tmx_x + Tmn_x}{2} \quad (3)$$

$$RTSUM_x = (T_x - T_{bi}) \cdot \Delta t, \text{ se } T_{bi} \leq T_x \leq T_{bs} \quad (4)$$

$$RTSUM_x = 0, \text{ se } T_x < T_{bi} \text{ ou } T_x > T_{bs} \quad (5)$$

$$TSUM_x = \sum_{j=1}^x RTSUM_j \quad (6)$$

$$RTSUME_x = (T_x - T_{bi}) \cdot \Delta t, \text{ se } T_{bi} \leq T_x \leq T_{bs} \quad (7)$$

$$RTSUME_x = RTSUME_{x-1}, \text{ se } T_x < T_{bi} \text{ ou } T_x > T_{bs} \quad (8)$$

$$TSUME_x = \sum_{j=1}^x RTSUME_j \quad (9)$$

em que  $T_x$  se refere à temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) média diária;  $Tmx_x$  e  $Tmn_x$  às temperaturas máxima e mínima diária;  $RTSUM_x$  e  $RTSUME_x$  é o índice térmico (ou soma térmica ou soma calórica ou graus-dia) no  $x$ -ésimo dia após a semente e após a emergência (valor diário), respectivamente;

$TSUM_x$  e  $TSUME_x$  é a soma térmica (graus-dia acumulado ou soma calórica, °C.dia) até o  $x$ -ésimo dia após a sementeira e após a emergência (valor acumulado), respectivamente;  $\Delta t$  é o intervalo de tempo (no caso da computação diária,  $\Delta t = 1$  dia);  $Tmx_x$ ,  $Tmn_x$  e  $T_{bi}$  são respectivamente temperatura (°C) máxima, mínima, basal inferior e basal superior da cultura de milho ( $T_{bi}=10^\circ\text{C}$ ;  $T_{bs}$ ,  $40^\circ\text{C}$ );  $x$  é o número de dias após a emergência.

### 3.8.3 Desenvolvimento relativo da cultura

O desenvolvimento relativo no  $x$ -ésimo dia após a emergência, nas fases vegetativa ( $DVRa_x$ ) e reprodutiva ( $DVRb_x$ ), é assim calculado:

$$DVRa_x = \frac{1}{TSUM1} \cdot RTSUME_x \quad (10)$$

$$DVRb_x = \frac{1}{TSUM2} \cdot RTSUME_x \quad (11)$$

Sendo assim, o desenvolvimento relativo no  $x$ -ésimo dia após a emergência ( $DVR_x$ ), em qualquer fase do ciclo, é assim calculado:

$$DVR_x = DVRa_x, \text{ se } TSUME_x - TSUM1 - T_{bi} < TSUM1 \quad (12)$$

$$DVR_x = DVRb_x, \text{ se } TSUME_x - TSUM1 - T_{bi} \geq TSUM1 \quad (13)$$

Para o cálculo do desenvolvimento relativo acumulado até o  $x$ -ésimo dia após a emergência ( $DVS_x$ ), tem-se que:

$$DVS_x = DVS_{x-1} + DVRa_x, \text{ se } DVS_x < 1 \quad (14)$$

$$DVS_x = DVS_{x-1} + DVRb_x, \text{ se } DVS_x \geq 1 \quad (15)$$

### 3.8.4 Duração do dia

A duração do dia ( $H_i$ , h.dia<sup>-1</sup>) é calculada em função da elevação solar (ângulo do sol acima do horizonte), determinada pela latitude ( $\phi$ , rad) e dia do ano (GOUDRIAAN; LAAR, 1992, 1994):

$$H_i = 12 \cdot \left\{ 1 + \frac{2}{\pi} \cdot \arcsen \left[ \frac{\text{sen}(\phi) \text{sen}(\alpha_i)}{\cos(\phi) \cos(\alpha_i)} \right] \right\} \quad (16)$$

em que  $\text{sen}(\phi) \text{sen}(\alpha_i)$  é o deslocamento solar dependente de sazonalidade em relação à linha do equador,  $\cos(\phi) \cos(\alpha_i)$  é a amplitude dependente de sazonalidade do seno da altura solar,  $\alpha_i$  é a declinação solar (radianos) em relação à linha do equador no  $i$ -ésimo dia do ano.

### 3.8.5 Índice de área foliar

Para o cálculo do índice de área foliar ( $I AF_x$ ,  $m^2 \cdot m^{-2}$ ) no  $x$ -ésimo dia após a emergência, tem-se que:

$$I AF_0 = I AF_i \quad (17)$$

$$I AF_x = I AF_{x-1} + rI AF_x \quad (18)$$

em que  $I AF_i$  se refere ao valor inicial do índice de área foliar ( $m^2 \cdot m^{-2}$ ) e  $rI AF_x$  ao saldo (diferença entre o ganho e a perda de índice de área foliar):

$$rLAI_x = gI AF_x - pI AF_x \quad (19)$$

em que  $gI AF_x$  e  $pI AF_x$  se referem, respectivamente, aos valores de ganho e de perda de índice de área foliar no  $x$ -ésimo dia após a emergência ( $m^2 \cdot m^{-2}$ ):

$$gI AF_x = I AF_x \cdot e^{\frac{RGRL \cdot DTEFF_x \cdot DELT - 1}{DEL T}}, \text{ se } DVS_x > 0 \text{ e } DVS_x \cdot TSUM_{1-2} < 160 \text{ e } I AF_{x-1} < 0,8 \quad (20)$$

$$pI AF_x = Afe \cdot MSF_x, \text{ se a restrição anterior não for satisfeita} \quad (21)$$

em que  $Afe$  se refere à área foliar específica ( $m^2 \cdot kg^{-1}$ ),  $MSF_x$  à massa de matéria seca de folha, por unidade de área, produzida no  $x$ -ésimo dia após a emergência ( $kg \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$ ).

$$dI AF_x = I AF_x \cdot RDR_x \quad (22)$$

$$MSF_x = pFO_x \cdot MST_x \quad (23)$$

$$RDR_x = RDRDV_x, \text{ se } RDRDV_x > RDRSH_x \quad (24)$$

$$RDR_x = RDRSH_x, \text{ se } RDRDV_x \leq RDRSH_x \quad (25)$$

em que  $pRA_x$ ,  $pFO_x$ ,  $pCO_x$  e  $pOR_x$  se referem, respectivamente, aos valores da partição ( $kg \cdot kg^{-1}$ ) de massa de matéria seca da raiz, folha, colmo e órgão reprodutivo em função dos valores de  $DVS_x$  (desenvolvimento relativo da cultura):

se  $0,00 \leq DVS_x < Dvs_1$

$$pRA_x = Ra_0 + \frac{(Ra_1 - Ra_0)}{Dvs_1} \cdot DVS_x \quad (26)$$

$$pFO_x = Fo_0 + \frac{(Fo_1 - Fo_0)}{Dvs_1} \cdot DVS_x \quad (27)$$

$$pCO_x = Co_0 + \frac{(Co_1 - Co_0)}{Dvs_1} \cdot DVS_x \quad (28)$$



$$pOR_x = Or_0 + \frac{(Or_1 - Or_0)}{Dvs_1} \cdot DVS_x \quad (29)$$

se  $Dvs_1 \leq DVS_x < Dvs_2$

$$pRA_x = Ra_1 + \frac{(Ra_2 - Ra_1)}{(Dvs_2 - Dvs_1)} \cdot (DVS_x - Dvs_1) \quad (30)$$

$$pFO_x = Fo_1 + \frac{(Fo_2 - Fo_1)}{(Dvs_2 - Dvs_1)} \cdot (DVS_x - Dvs_1) \quad (31)$$

$$pCO_x = Co_1 + \frac{(Co_2 - Co_1)}{(Dvs_2 - Dvs_1)} \cdot (DVS_x - Dvs_1) \quad (32)$$

$$pOR_x = Or_1 + \frac{(Or_2 - Or_1)}{(Dvs_2 - Dvs_1)} \cdot (DVS_x - Dvs_1) \quad (33)$$

se  $Dvs_2 \leq DVS_x < Dvs_3$

$$pRA_x = Ra_2 + \frac{(Ra_3 - Ra_2)}{(Dvs_3 - Dvs_2)} \cdot (DVS_x - Dvs_2) \quad (34)$$

$$pFO_x = Fo_2 + \frac{(Fo_3 - Fo_2)}{(Dvs_3 - Dvs_2)} \cdot (DVS_x - Dvs_2) \quad (35)$$

$$pCO_x = Co_2 + \frac{(Co_3 - Co_2)}{(Dvs_3 - Dvs_2)} \cdot (DVS_x - Dvs_2) \quad (36)$$

$$pOR_x = Or_2 + \frac{(Or_3 - Or_2)}{(Dvs_3 - Dvs_2)} \cdot (DVS_x - Dvs_2) \quad (37)$$

se  $Dvs_3 \leq DVS_x < Dvs_4$

$$pRA_x = Ra_3 - \frac{(Ra_4 - Ra_3)}{(Dvs_4 - Dvs_3)} \cdot (DVS_x - Dvs_3) \quad (38)$$

$$pFO_x = Fo_3 - \frac{(Fo_4 - Fo_3)}{(Dvs_4 - Dvs_3)} \cdot (DVS_x - Dvs_3) \quad (39)$$

$$pCO_x = Co_3 - \frac{(Co_4 - Co_3)}{(Dvs_4 - Dvs_3)} \cdot (DVS_x - Dvs_3) \quad (40)$$

$$pOR_x = Or_3 - \frac{(Or_4 - Or_3)}{(Dvs_4 - Dvs_3)} \cdot (DVS_x - Dvs_3) \quad (41)$$

se  $DVS_x \geq Dvs_4$

$$pRA_x = 0,00 \quad (42)$$

$$pFO_x = 0,00 \quad (43)$$

$$pCO_x = 0,00 \quad (44)$$

$$pOR_x = 1,00 \quad (45)$$

em que  $(Ra_0, Ra_1, Ra_2 \text{ e } Ra_3)$ ,  $(Fo_0, Fo_1, Fo_2 \text{ e } Fo_3)$ ,  $(Co_0, Co_1, Co_2 \text{ e } Co_3)$  e  $(Or_0, Or_1, Or_2 \text{ e } Or_3)$  se referem, respectivamente, aos valores extremos da partição ( $\text{kg.kg}^{-1}$ ) de massa de matéria seca da raiz, folha, colmo e órgão reprodutivo.

A produção diária, por unidade de área, de massa de matéria seca total de milho ( $MST_x$ ,  $\text{kg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) pode assim ser calculada:

$$MST_x = EUR.PARint_x \quad (46)$$

em que  $EUR$  se refere à eficiência de utilização da radiação fotossinteticamente ativa ( $\text{kg.MJ}^{-1}$ ); e  $PARint_x$  à radiação fotossinteticamente ativa interceptada ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ):

$$PARint_x = 0,5.Qg_x.(1 - e^{-K.IAF_x}) \quad (47)$$

em que  $Qg_x$  se refere à radiação solar global ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ );  $IAF_x$  ao índice de área foliar ( $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ ); e  $k$  ao coeficiente de extinção de radiação (adimensional).

$RDRDV_x$  e  $RDRSH_x$  são assim calculados:

$$RDRDV_x = \frac{DVR_x}{2-DVS_x} \quad (48)$$

$$RDRSH_x = \frac{IAF_x - IAFc}{IAFc}, \text{ se } 0 \leq \frac{IAF_x - IAFc}{IAFc} \leq 1 \quad (49)$$

$$RDRSH_x = 0, \text{ se } \frac{IAF_x - IAFc}{IAFc} < 0 \quad (50)$$

$$RDRSH_x = 1, \text{ se } \frac{IAF_x - IAFc}{IAFc} > 1 \quad (51)$$

### 3.9 Parametrização do modelo LINTUL para a cultura de milho

#### 3.9.1 Parâmetros obtidos por intermédio do experimento

Os parâmetros obtidos experimentalmente foram soma térmica entre a semeadura e a emergência ( $TSUMI$ , °C.dia), soma térmica entre a emergência e o florescimento ( $TSUMI$ , °C.dia), soma térmica entre o florescimento e o ponto de maturidade fisiológica ( $TSUM2$ , °C.dia), área foliar específica ( $Afe$ ,  $m^2.kg^{-1}$ ), índice de área foliar inicial ( $IAFi$ ,  $m^2.m^{-2}$ ) na emergência, índice de área foliar crítico, acima do qual há auto-sombreamento ( $IAFc$ ,  $m^2.m^{-2}$ ), e valores extremos dos coeficientes de partição ( $kg.kg^{-1}$ ) de massa de matéria seca de raiz, folha, colmo e órgão reprodutivo nas diferentes fases do desenvolvimento e crescimento da cultura de milho.

#### 3.9.2 Parâmetros obtidos com base na Literatura

Os parâmetros obtidos com base na literatura foram: (i) coeficiente de extinção de luz ( $K$ , adimensional), (ii) eficiência de utilização da radiação fotossinteticamente ativa ( $EUR$ ,  $kg.MJ^{-1}$ ), (iii) temperatura basal inferior da cultura ( $T_{bi}$ , °C), (iv) temperatura basal superior da cultura ( $T_{bs}$ , °C), (v) temperatura ótima inferior da cultura ( $T_{oi}$ , °C), temperatura ótima superior da cultura ( $T_{os}$ , °C).

#### 3.9.3 Estimadores de ajuste do modelo

Com a finalidade de obter uma ilustração qualitativa e quantitativa do grau de ajuste do modelo, utilizou-se representações gráficas 1:1 (simulado *versus* medido) e se calculou os coeficientes a e b da regressão linear, bem o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Massa de matéria seca de raiz, colmo, folha e órgão reprodutivo

A massa de matéria seca das diferentes partes da planta de milho, referente aos genótipos utilizados, encontram-se nas Tabelas 10 a 13 (genótipo BRS-1001), Tabelas 14 a 17 (genótipo BRS-1010) e Tabelas 18 a 21 (genótipo BRS-3003).

Tabela 10 - Massa de matéria seca de raiz de milho ( $\text{g.planta}^{-1}$ ) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-1001 (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Data	DAE	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
27/9/2003	0	0,018	0,024	0,024	0,017
29/9/2003	2	0,061	0,052	0,044	0,053
2/10/2003	5	0,019	0,016	0,011	0,015
5/10/2003	8	0,077	0,051	0,045	0,070
8/10/2003	11	0,077	0,070	0,086	0,053
9/10/2003	12	0,103	0,127	0,177	0,111
10/10/2003	13	0,181	0,154	0,231	0,155
13/10/2003	16	0,206	0,280	0,254	0,242
16/10/2003	19	0,461	0,432	0,364	0,267
20/10/2003	23	1,089	0,779	0,766	0,827
24/10/2003	27	0,843	1,054	4,594	1,036
29/10/2003	32	2,658	2,039	1,484	2,056
4/11/2003	38	4,330	3,511	3,401	4,441
12/11/2003	46	9,051	9,360	13,257	10,107
19/11/2003	53	32,067	19,723	21,813	24,617
26/11/2003	60	23,483	21,990	43,393	52,380
3/12/2003	67	12,723	16,700	26,437	24,893
11/12/2003	75	21,320	41,210	36,030	42,870
16/12/2003	80	13,933	14,063	23,193	27,563
22/12/2003	86	24,203	16,043	19,173	30,437
8/1/2004	103	15,650	16,680	31,597	24,690
20/1/2004	115	17,750	17,417	18,507	32,387
2/2/2004	128	22,873	39,317	39,557	41,620
16/2/2004	142	17,097	34,440	21,293	31,770

\* Semeadura: 20 de setembro de 2003

Tabela 11 - Massa de matéria seca de colmo de milho (g.planta<sup>-1</sup>) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-1001 (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Data	DAE	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
27/9/2003	0	0,006	0,004	0,004	0,004
29/9/2003	2	0,013	0,015	0,010	0,009
2/10/2003	5	0,026	0,012	0,015	0,018
5/10/2003	8	0,113	0,077	0,056	0,069
8/10/2003	11	0,024	0,021	0,019	0,021
9/10/2003	12	0,012	0,011	0,020	0,010
10/10/2003	13	0,040	0,025	0,039	0,026
13/10/2003	16	0,038	0,066	0,049	0,040
16/10/2003	19	0,138	0,132	0,125	0,103
20/10/2003	23	0,306	0,191	0,174	0,202
24/10/2003	27	0,488	0,610	0,406	0,379
29/10/2003	32	1,463	1,351	1,108	1,834
4/11/2003	38	6,302	4,053	6,665	5,259
12/11/2003	46	15,684	15,437	23,056	19,352
19/11/2003	53	35,890	29,317	30,160	27,333
26/11/2003	60	41,397	44,137	43,693	66,317
3/12/2003	67	48,757	46,650	59,760	56,257
11/12/2003	75	49,570	54,260	70,310	77,250
16/12/2003	80	41,350	45,923	65,387	76,150
22/12/2003	86	55,367	47,583	61,177	76,743
8/1/2004	103	52,317	46,297	82,483	72,753
20/1/2004	115	61,597	67,947	69,267	114,910
2/2/2004	128	68,530	82,617	96,123	87,117
16/2/2004	142	58,147	64,377	58,037	82,080

\* Semeadura: 20 de setembro de 2003

Tabela 12 - Massa de matéria seca de folha de milho (g.planta<sup>-1</sup>) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-1001 (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Data	DAE	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
27/9/2003	0	0,017	0,020	0,023	0,020
29/9/2003	2	0,036	0,068	0,041	0,040
2/10/2003	5	0,025	0,012	0,011	0,011
5/10/2003	8	0,209	0,111	0,056	0,130
8/10/2003	11	0,097	0,079	0,087	0,082
9/10/2003	12	0,440	0,321	0,387	0,327
10/10/2003	13	0,903	0,539	0,788	0,655
13/10/2003	16	0,995	1,382	1,039	1,021
16/10/2003	19	2,325	2,142	1,927	1,489
20/10/2003	23	5,489	3,889	4,062	5,000
24/10/2003	27	7,827	9,348	3,582	7,828
29/10/2003	32	14,700	14,931	13,793	16,160
4/11/2003	38	28,594	24,046	27,951	27,168
12/11/2003	46	43,636	42,574	52,750	46,735
19/11/2003	53	70,227	62,990	62,520	63,110
26/11/2003	60	65,700	69,033	72,030	80,850
3/12/2003	67	63,177	61,883	76,693	77,537
11/12/2003	75	70,590	75,070	79,800	80,970
16/12/2003	80	53,567	62,610	77,257	90,197
22/12/2003	86	75,943	65,017	76,047	89,153
8/1/2004	103	60,457	59,787	88,470	73,710
20/1/2004	115	63,653	62,547	63,843	79,753
2/2/2004	128	64,937	63,010	70,583	69,073
16/2/2004	142	45,767	55,117	55,760	63,390

\* Semeadura: 20 de setembro de 2003

Tabela 13 - Massa de matéria seca de órgão reprodutivo de milho ( $\text{g.planta}^{-1}$ ) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-1001 (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Data	DAE	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
27/9/2003	0	0,000	0,000	0,000	0,000
29/9/2003	2	0,000	0,000	0,000	0,000
2/10/2003	5	0,000	0,000	0,000	0,000
5/10/2003	8	0,000	0,000	0,000	0,000
8/10/2003	11	0,000	0,000	0,000	0,000
9/10/2003	12	0,000	0,000	0,000	0,000
10/10/2003	13	0,000	0,000	0,000	0,000
13/10/2003	16	0,000	0,000	0,000	0,000
16/10/2003	19	0,000	0,000	0,000	0,000
20/10/2003	23	0,000	0,000	0,000	0,000
24/10/2003	27	0,000	0,000	0,000	0,000
29/10/2003	32	0,000	0,000	0,000	0,000
4/11/2003	38	0,000	0,000	0,000	0,000
12/11/2003	46	0,392	0,842	0,687	0,255
19/11/2003	53	5,446	3,344	4,249	2,802
26/11/2003	60	19,516	9,198	15,826	14,089
3/12/2003	67	27,693	22,672	54,887	26,713
11/12/2003	75	67,260	88,450	84,120	87,820
16/12/2003	80	61,597	68,947	99,553	120,800
22/12/2003	86	131,243	107,600	123,690	186,280
8/1/2004	103	162,613	142,027	222,357	180,163
20/1/2004	115	198,717	187,343	182,283	228,247
2/2/2004	128	251,027	229,477	271,463	286,660
16/2/2004	142	187,003	190,510	201,307	210,413

\* Semeadura: 20 de setembro de 2003



Tabela 14 - Massa de matéria seca de raiz de milho ( $\text{g.planta}^{-1}$ ) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-1010 (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Data	DAE	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
27/9/2003	0	0,017	0,021	0,018	0,022
29/9/2003	2	0,047	0,043	0,053	0,045
2/10/2003	5	0,023	0,021	0,014	0,022
5/10/2003	8	0,049	0,043	0,049	0,054
8/10/2003	11	0,053	0,036	0,053	0,051
9/10/2003	12	0,158	0,123	0,140	0,096
10/10/2003	13	0,267	0,212	0,169	0,262
13/10/2003	16	0,266	0,353	0,184	0,236
16/10/2003	19	0,379	0,447	0,570	0,532
20/10/2003	23	1,373	0,865	1,182	1,295
24/10/2003	27	1,907	1,172	5,807	1,324
29/10/2003	32	3,194	2,241	2,314	2,280
4/11/2003	38	2,668	4,970	4,913	5,710
12/11/2003	46	11,410	12,493	18,883	20,714
19/11/2003	53	18,870	25,067	28,770	18,543
26/11/2003	60	41,740	44,180	27,013	46,673
3/12/2003	67	21,627	25,890	26,020	37,413
11/12/2003	75	21,950	44,380	30,830	42,100
16/12/2003	80	40,820	22,517	29,183	22,480
22/12/2003	86	17,757	20,917	23,663	15,787
8/1/2004	103	15,880	14,843	23,897	29,357
20/1/2004	115	18,287	19,350	22,043	24,257
2/2/2004	128	24,940	26,167	30,247	28,210
16/2/2004	142	31,590	20,733	28,877	25,837

\* Semeadura: 20 de setembro de 2003

Tabela 15 - Massa de matéria seca de colmo de milho (g.planta<sup>-1</sup>) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-1010 (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Data	DAE	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
27/9/2003	0	0,005	0,004	0,004	0,005
29/9/2003	2	0,011	0,014	0,009	0,011
2/10/2003	5	0,018	0,021	0,017	0,020
5/10/2003	8	0,061	0,057	0,063	0,077
8/10/2003	11	0,021	0,016	0,016	0,030
9/10/2003	12	0,017	0,007	0,016	0,008
10/10/2003	13	0,047	0,029	0,036	0,046
13/10/2003	16	0,045	0,058	0,033	0,031
16/10/2003	19	0,134	0,129	0,201	0,160
20/10/2003	23	0,190	0,225	0,232	0,386
24/10/2003	27	0,831	0,617	0,521	0,322
29/10/2003	32	1,781	1,154	1,064	1,295
4/11/2003	38	5,163	5,357	8,850	8,892
12/11/2003	46	14,556	15,450	22,740	21,450
19/11/2003	53	33,307	30,220	39,133	32,003
26/11/2003	60	40,993	59,017	70,913	82,940
3/12/2003	67	61,293	67,210	71,033	69,940
11/12/2003	75	50,960	64,500	65,480	80,140
16/12/2003	80	49,567	45,187	73,643	68,907
22/12/2003	86	45,463	51,150	69,523	70,773
8/1/2004	103	51,823	49,090	104,793	58,013
20/1/2004	115	68,087	55,397	82,677	88,357
2/2/2004	128	68,383	70,950	115,530	119,237
16/2/2004	142	83,180	58,527	101,360	86,203

\* Semeadura: 20 de setembro de 2003

Tabela 16 - Massa de matéria seca de folha de milho (g.planta<sup>-1</sup>) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-1010 (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Data	DAE	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
27/9/2003	0	0,018	0,020	0,020	0,022
29/9/2003	2	0,042	0,045	0,033	0,042
2/10/2003	5	0,011	0,018	0,013	0,014
5/10/2003	8	0,134	0,098	0,112	0,157
8/10/2003	11	0,074	0,045	0,058	0,108
9/10/2003	12	0,489	0,318	0,395	0,186
10/10/2003	13	1,105	0,708	0,708	1,046
13/10/2003	16	1,076	1,350	0,832	0,923
16/10/2003	19	1,819	1,867	3,124	2,037
20/10/2003	23	4,917	4,532	5,011	6,529
24/10/2003	27	10,489	8,570	4,771	6,693
29/10/2003	32	17,717	14,810	13,170	14,842
4/11/2003	38	25,867	27,844	32,984	36,309
12/11/2003	46	43,069	41,083	52,295	54,012
19/11/2003	53	59,093	60,920	61,983	62,043
26/11/2003	60	64,780	79,740	66,203	73,847
3/12/2003	67	73,623	70,190	79,510	79,187
11/12/2003	75	63,710	86,250	77,530	85,120
16/12/2003	80	63,690	62,773	78,363	76,677
22/12/2003	86	59,177	66,080	84,357	79,927
8/1/2004	103	59,287	62,507	82,577	57,530
20/1/2004	115	65,960	64,600	75,090	70,803
2/2/2004	128	55,840	53,390	69,830	66,613
16/2/2004	142	60,613	54,030	62,387	57,213

\* Semeadura: 20 de setembro de 2003

Tabela 17 - Massa de matéria seca de órgão reprodutivo de milho (g.planta<sup>-1</sup>) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-1010 (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Data	DAE	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
27/9/2003	0	0,000	0,000	0,000	0,000
29/9/2003	2	0,000	0,000	0,000	0,000
2/10/2003	5	0,000	0,000	0,000	0,000
5/10/2003	8	0,000	0,000	0,000	0,000
8/10/2003	11	0,000	0,000	0,000	0,000
9/10/2003	12	0,000	0,000	0,000	0,000
10/10/2003	13	0,000	0,000	0,000	0,000
13/10/2003	16	0,000	0,000	0,000	0,000
16/10/2003	19	0,000	0,000	0,000	0,000
20/10/2003	23	0,000	0,000	0,000	0,000
24/10/2003	27	0,000	0,000	0,000	0,000
29/10/2003	32	0,000	0,000	0,000	0,000
4/11/2003	38	0,000	0,000	0,000	0,000
12/11/2003	46	0,407	0,438	0,478	0,777
19/11/2003	53	5,484	5,070	8,324	2,844
26/11/2003	60	17,418	27,098	12,010	22,569
3/12/2003	67	45,417	39,559	52,118	52,922
11/12/2003	75	78,860	98,050	84,160	84,597
16/12/2003	80	86,587	80,347	114,370	110,483
22/12/2003	86	110,370	124,210	136,053	134,577
8/1/2004	103	176,923	168,523	215,460	145,440
20/1/2004	115	164,893	206,290	234,590	214,263
2/2/2004	128	210,963	226,367	252,960	251,860
16/2/2004	142	229,227	243,834	259,780	243,873

\* Semeadura: 20 de setembro de 2003

Tabela 18 - Massa de matéria seca de raiz de milho ( $\text{g.planta}^{-1}$ ) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-3003 (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Data	DAE	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
27/9/2003	0	0,028	0,034	0,026	0,036
29/9/2003	2	0,069	0,078	0,073	0,062
2/10/2003	5	0,022	0,036	0,029	0,033
5/10/2003	8	0,094	0,061	0,098	0,075
8/10/2003	11	0,049	0,084	0,071	0,087
9/10/2003	12	0,180	0,130	0,162	0,132
10/10/2003	13	0,147	0,276	0,209	0,259
13/10/2003	16	0,297	0,334	0,371	0,339
16/10/2003	19	0,415	0,558	0,519	0,551
20/10/2003	23	1,014	1,268	1,019	0,972
24/10/2003	27	2,388	1,361	1,355	1,550
29/10/2003	32	3,387	2,661	1,969	3,106
4/11/2003	38	5,150	7,019	5,099	7,402
12/11/2003	46	7,138	7,325	14,332	13,683
19/11/2003	53	25,597	31,960	31,597	35,110
26/11/2003	60	59,843	54,590	42,217	35,400
3/12/2003	67	17,690	27,667	15,590	20,193
11/12/2003	75	24,180	63,990	100,730	54,760
16/12/2003	80	15,117	31,863	39,587	35,237
22/12/2003	86	13,770	17,220	28,157	32,073
8/1/2004	103	19,620	25,303	21,443	19,907
20/1/2004	115	37,000	30,890	27,143	20,593
2/2/2004	128	28,877	34,747	70,743	19,607
16/2/2004	142	25,503	15,813	22,033	23,643

\* Semeadura: 20 de setembro de 2003

Tabela 19 - Massa de matéria seca de colmo de milho (g.planta<sup>-1</sup>) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-3003 (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Data	DAE	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
27/9/2003	0	0,007	0,005	0,004	0,005
29/9/2003	2	0,015	0,017	0,012	0,015
2/10/2003	5	0,028	0,030	0,027	0,025
5/10/2003	8	0,135	0,114	0,093	0,112
8/10/2003	11	0,018	0,022	0,022	0,025
9/10/2003	12	0,020	0,009	0,018	0,010
10/10/2003	13	0,024	0,043	0,031	0,049
13/10/2003	16	0,050	0,051	0,059	0,071
16/10/2003	19	0,199	0,240	0,226	0,207
20/10/2003	23	0,225	0,372	0,366	0,201
24/10/2003	27	0,587	0,641	0,522	0,376
29/10/2003	32	2,674	1,065	2,196	2,145
4/11/2003	38	7,857	7,732	9,465	9,191
12/11/2003	46	13,564	13,322	17,999	30,417
19/11/2003	53	35,677	38,193	37,367	36,030
26/11/2003	60	58,693	56,667	72,857	58,410
3/12/2003	67	52,630	56,273	63,110	66,880
11/12/2003	75	55,740	52,780	88,340	82,800
16/12/2003	80	57,687	59,970	84,933	72,713
22/12/2003	86	44,453	51,220	90,897	70,063
8/1/2004	103	52,457	62,497	72,613	66,860
20/1/2004	115	73,827	69,260	110,163	62,707
2/2/2004	128	57,150	87,683	127,160	64,333
16/2/2004	142	70,553	50,407	95,437	74,077

\* Semeadura: 20 de setembro de 2003

Tabela 20 - Massa de matéria seca de folha de milho (g.planta<sup>-1</sup>) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-3003 (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Data	DAE	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
27/9/2003	0	0,016	0,024	0,020	0,031
29/9/2003	2	0,055	0,056	0,064	0,056
2/10/2003	5	0,027	0,025	0,023	0,019
5/10/2003	8	0,227	0,184	0,198	0,197
8/10/2003	11	0,072	0,079	0,085	0,075
9/10/2003	12	0,497	0,308	0,504	0,455
10/10/2003	13	0,613	1,008	0,759	1,025
13/10/2003	16	1,300	1,406	1,546	1,555
16/10/2003	19	2,990	3,611	3,411	3,075
20/10/2003	23	4,719	6,870	6,505	4,656
24/10/2003	27	10,939	9,083	9,395	7,689
29/10/2003	32	22,014	14,081	17,345	19,921
4/11/2003	38	34,713	34,915	36,359	35,785
12/11/2003	46	36,543	38,922	48,327	57,854
19/11/2003	53	65,463	68,160	65,147	73,403
26/11/2003	60	74,847	68,287	83,717	69,183
3/12/2003	67	75,790	74,070	73,937	82,097
11/12/2003	75	71,200	82,180	109,930	93,830
16/12/2003	80	64,287	71,390	90,630	80,120
22/12/2003	86	62,583	65,243	96,380	89,067
8/1/2004	103	58,883	67,167	74,980	68,563
20/1/2004	115	74,507	77,307	83,010	64,613
2/2/2004	128	55,530	64,883	81,553	52,077
16/2/2004	142	55,117	51,740	62,610	54,490

\* Semeadura: 20 de setembro de 2003

Tabela 21 - Massa de matéria seca de órgão reprodutivo de milho (g.planta<sup>-1</sup>) nos diferentes dias após a emergência (DAE), genótipo BRS-3003 (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>). Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Data	DAE	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
27/9/2003	0	0,000	0,000	0,000	0,000
29/9/2003	2	0,000	0,000	0,000	0,000
2/10/2003	5	0,000	0,000	0,000	0,000
5/10/2003	8	0,000	0,000	0,000	0,000
8/10/2003	11	0,000	0,000	0,000	0,000
9/10/2003	12	0,000	0,000	0,000	0,000
10/10/2003	13	0,000	0,000	0,000	0,000
13/10/2003	16	0,000	0,000	0,000	0,000
16/10/2003	19	0,000	0,000	0,000	0,000
20/10/2003	23	0,000	0,000	0,000	0,000
24/10/2003	27	0,000	0,000	0,000	0,000
29/10/2003	32	0,000	0,000	0,000	0,000
4/11/2003	38	0,000	0,000	0,000	0,000
12/11/2003	46	0,786	0,204	1,081	0,675
19/11/2003	53	6,646	6,906	6,343	6,181
26/11/2003	60	16,997	19,493	28,470	23,600
3/12/2003	67	44,599	51,423	41,437	41,164
11/12/2003	75	70,080	90,290	143,640	108,990
16/12/2003	80	78,817	99,360	141,310	120,640
22/12/2003	86	120,077	114,023	170,453	167,720
8/1/2004	103	187,453	195,570	183,677	175,200
20/1/2004	115	248,493	228,617	238,267	175,347
2/2/2004	128	213,313	260,353	319,810	188,500
16/2/2004	142	206,097	240,660	202,707	240,540

\* Semeadura: 20 de setembro de 2003



## 4.2 Parametrização do modelo LINTUL para a cultura de milho

A parametrização do modelo LINTUL para a cultura de milho foi efetuada com base nos resultados obtidos com os genótipos BRS-1001, BRS-1010 e BRS-3003, na safra 2003/2004, em Piracicaba, SP (área experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo).

### 4.2.1 Parâmetros do modelo obtidos por intermédio do experimento e na Literatura

Foram utilizados os seguintes parâmetros obtidos com base na literatura no modelo LINTUL para estimar a produtividade potencial da cultura de milho (parâmetros não obtidos por intermédio do experimento): (i) coeficiente de extinção de luz ( $k$ ,  $m^2.m^{-2}$ ); (ii) eficiência de utilização de radiação ( $EUR$ ,  $g.MJ^{-1}$ ); (iii) temperatura basal inferior da cultura de milho ( $^{\circ}C$ ); (iv) temperatura basal superior da cultura de milho ( $^{\circ}C$ ); (v) temperatura ótima inferior ( $^{\circ}C$ ); (vi) temperatura ótima superior ( $^{\circ}C$ ); (vii) produção inicial diária, por unidade de área, de massa de matéria seca total ( $0\text{ kg}.m^{-2}.dia^{-1}$ ); (viii) valores de desenvolvimento relativo para as diferentes fases do ciclo.

A produtividade potencial da cultura de milho foi estimada utilizando os seguintes parâmetros do modelo LINTUL obtidos por intermédio do experimento: (i) soma térmica entre a semeadura e a emergência, soma térmica entre a emergência e o florescimento ou soma calórica referente à fase vegetativa e soma térmica entre o florescimento e o ponto de maturidade fisiológica ou soma calórica referente à fase reprodutiva foram, respectivamente, de  $115^{\circ}C.dia$ ,  $902^{\circ}C.dia$  ( $TSUM1$ ) e  $1009^{\circ}C.dia$  ( $TSUM2$ ), para os três genótipos (BRS-1001, BRS-1010 e BRS-3003) estudados; (ii) soma calórica total (emergência ao ponto de maturidade fisiológica):  $TTSUM = TSUM1 + TSUM2$ ; (iii) os valores de  $Afe$  (área foliar específica) e  $IAC$  (índice de área foliar crítico) foram, respectivamente, de  $0,036\text{ m}^2.g^{-1}$  e  $5,7\text{ m}^2.m^{-2}$ , para os três genótipos estudados; (iv) crescimento inicial do índice de área foliar:  $GLAI_0 = \frac{LAI}{DELTA}$  ( $DELTA=1\text{ dia}$ ); (v) massa de matéria seca inicial de folha:  $WLVI = \frac{LAI}{SLA}$ ; (vi) massa de matéria seca inicial de raiz:  $WRTI = WLVI.0,25$ ; (vii) índice de área foliar inicial na emergência ( $IACi$ ,  $m^2.m^{-2}$ ) para cada genótipo BRS-1001 e (vi) os valores extremos dos coeficientes de partição ( $kg.kg^{-1}$ ) de massa de

matéria seca de raiz, folha, colmo e órgão reprodutivo nas diferentes fases do desenvolvimento e crescimento da cultura de milho.

#### 4.2.2 Índice de área foliar

Os valores de índice de área foliar para os genótipos BRS-1001, BRS-1010 e BRS-3003 são apresentados nas Tabelas 22, 23 e 24, respectivamente.

Tabela 22 - Valores (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>) de índice de índice de área foliar (m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>) da cultura de milho, nas diferentes datas de coleta e nos diferentes dias após a emergência (DAE), referentes ao genótipo BRS-1001. Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Data	DAE	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
27/9/2003	0	0,002	0,003	0,002	0,002
29/9/2003	2	0,006	0,003	0,004	0,003
2/10/2003	5	0,021	0,017	0,015	0,014
5/10/2003	8	0,052	0,030	0,028	0,033
8/10/2003	11	0,079	0,068	0,061	0,066
9/10/2003	12	-	-	-	-
10/10/2003	13	0,137	0,123	0,083	0,091
13/10/2003	16	-	-	-	-
16/10/2003	19	0,285	0,259	0,230	0,194
20/10/2003	23	0,690	0,473	0,471	0,558
24/10/2003	27	0,852	0,762	0,994	0,806
29/10/2003	32	1,556	1,522	1,521	1,691
4/11/2003	38	2,860	2,929	2,462	2,745
12/11/2003	46	3,939	5,143	4,125	4,809
19/11/2003	53	5,510	5,303	5,839	5,486
26/11/2003	60	4,774	5,497	5,713	6,315
3/12/2003	67	5,063	6,064	5,445	6,286
11/12/2003	75	5,683	5,682	5,392	5,697
16/12/2003	80	4,590	5,463	4,457	5,724
22/12/2003	86	5,210	5,695	4,986	5,818
8/1/2004	103	3,796	5,460	3,737	4,535
20/1/2004	115	2,623	1,484	2,292	2,400
2/2/2004	128	1,440	1,611	0,484	1,150
16/2/2004	142	-	-	-	-

\* Semeadura: 20 de setembro de 2003

Tabela 23 - Valores (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>) de índice de área foliar (m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>) da cultura de milho, nas diferentes datas de coleta e nos diferentes dias após a emergência (DAE), referentes ao genótipo BRS-1010. Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

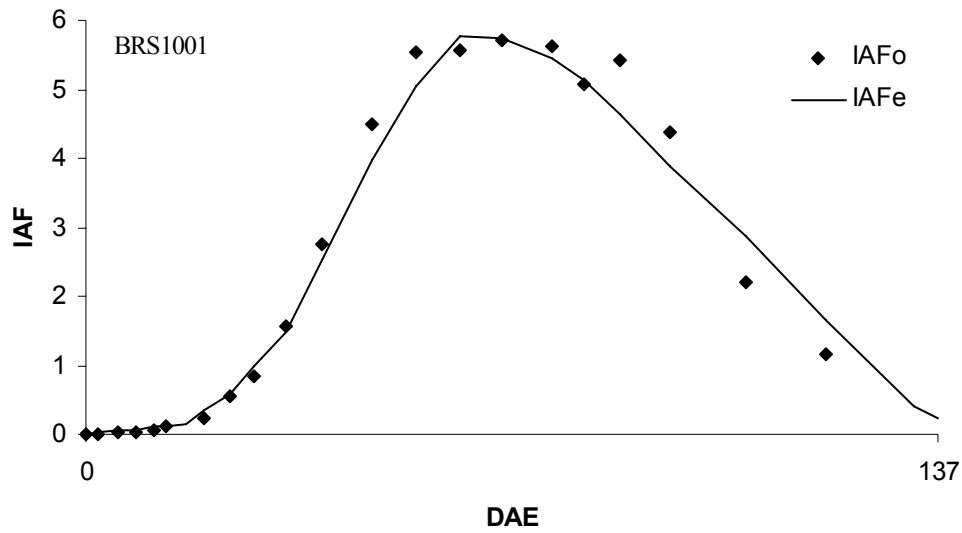
Data	DAE	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
27/9/2003	0	0,001	0,002	0,002	0,002
29/9/2003	2	0,001	0,004	0,005	0,004
2/10/2003	5	0,016	0,012	0,008	0,018
5/10/2003	8	0,035	0,031	0,026	0,039
8/10/2003	11	0,097	0,085	0,062	0,041
9/10/2003	12	-	-	-	-
10/10/2003	13	0,168	0,121	0,096	0,161
13/10/2003	16	-	-	-	-
16/10/2003	19	0,225	0,372	0,227	0,292
20/10/2003	23	0,534	0,571	0,553	0,671
24/10/2003	27	1,098	0,972	0,954	0,774
29/10/2003	32	1,650	1,457	1,611	1,515
4/11/2003	38	2,755	3,283	2,709	3,457
12/11/2003	46	3,969	4,465	3,827	5,067
19/11/2003	53	4,572	5,107	4,932	5,384
26/11/2003	60	4,981	5,217	5,312	6,299
3/12/2003	67	5,480	5,721	5,298	4,822
11/12/2003	75	4,701	5,344	5,493	5,570
16/12/2003	80	4,720	5,448	4,391	4,666
22/12/2003	86	4,114	5,494	4,384	5,383
8/1/2004	103	3,925	5,273	4,136	3,973
20/1/2004	115	3,300	1,795	2,605	1,483
2/2/2004	128	1,381	0,882	1,905	0,292
16/2/2004	142	-	-	-	-

\* Semeadura: 20 de setembro de 2003

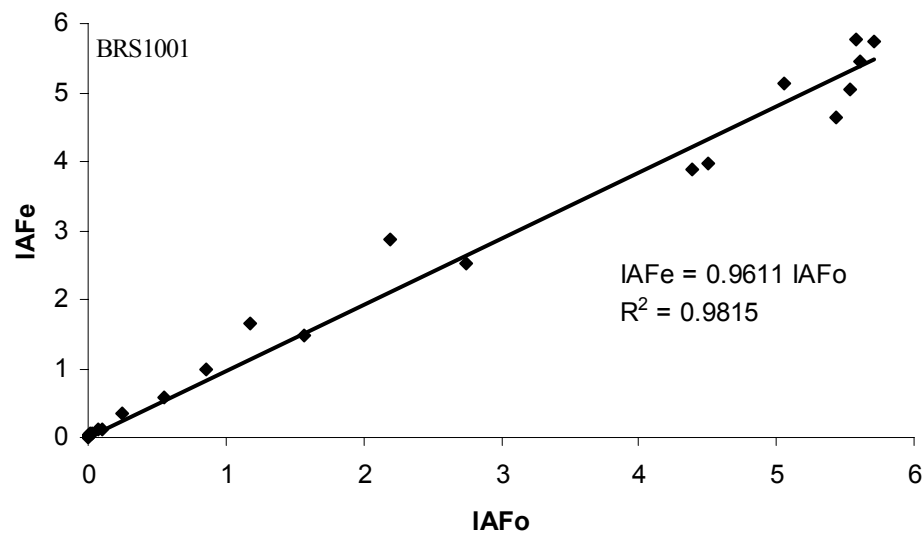
Tabela 24 - Valores (4 repetições - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>) de índice de índice de área foliar (m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>) da cultura de milho, nas diferentes datas de coleta e nos diferentes dias após a emergência (DAE), referentes ao genótipo BRS-3003. Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Data	DAE	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
27/9/2003	0	0,002	0,002	0,003	0,003
29/9/2003	2	0,006	0,006	0,007	0,005
2/10/2003	5	0,014	0,017	0,016	0,015
5/10/2003	8	0,049	0,051	0,046	0,047
8/10/2003	11	0,099	0,102	0,056	0,083
9/10/2003	12	-	-	-	-
10/10/2003	13	0,089	0,123	0,135	0,163
13/10/2003	16	-	-	-	-
16/10/2003	19	0,359	0,337	0,413	0,346
20/10/2003	23	0,576	0,708	0,698	0,537
24/10/2003	27	0,995	0,969	0,971	0,760
29/10/2003	32	2,301	1,788	1,523	1,893
4/11/2003	38	3,461	3,309	3,385	3,599
12/11/2003	46	4,042	3,198	3,855	5,303
19/11/2003	53	4,971	5,472	5,310	6,824
26/11/2003	60	5,031	5,397	4,998	5,409
3/12/2003	67	5,626	5,754	5,581	5,927
11/12/2003	75	4,805	6,843	5,921	5,944
16/12/2003	80	4,421	5,498	4,383	5,021
22/12/2003	86	5,237	5,508	4,478	5,794
8/1/2004	103	3,472	4,857	3,745	3,347
20/1/2004	115	3,513	2,511	3,215	1,733
2/2/2004	128	1,787	1,431	1,832	0,657
16/2/2004	142	-	-	-	-

\* Semeadura: 20 de setembro de 2003

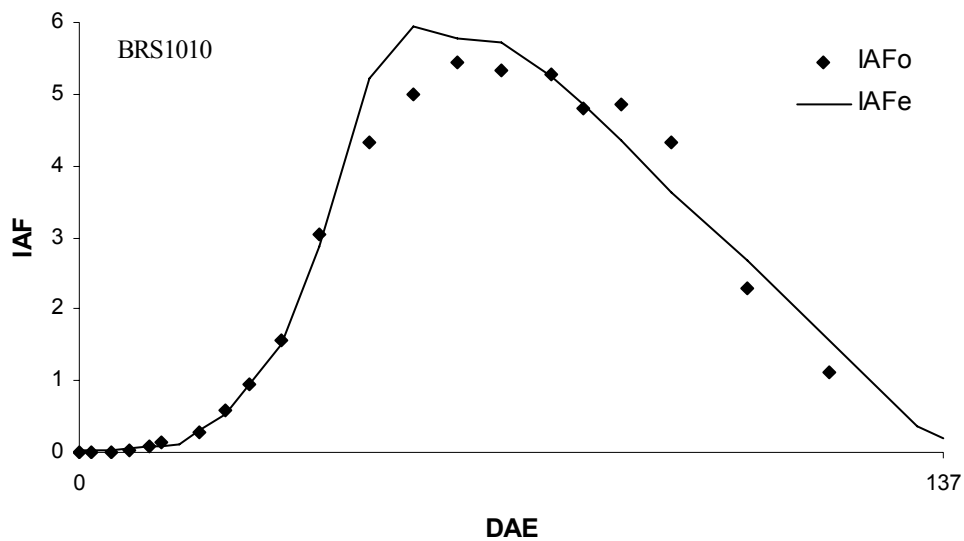


(a)

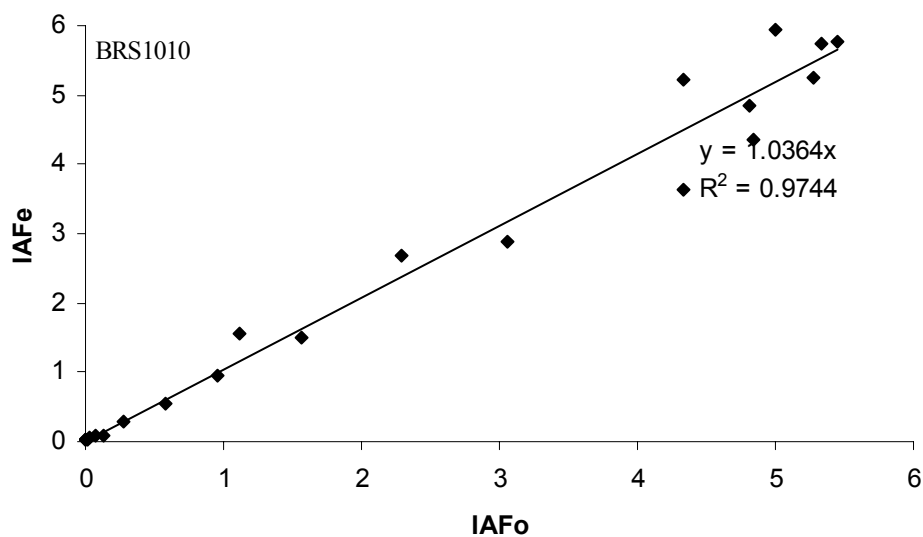


(b)

Figura 3 - Valores médios observados (IAFo) e estimados (IAFe) de índice de área foliar ( $m^2.m^{-2}$ ) da cultura de milho, em função do número de dias após a emergência (DAE), referentes ao genótipo BRS-1001. Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

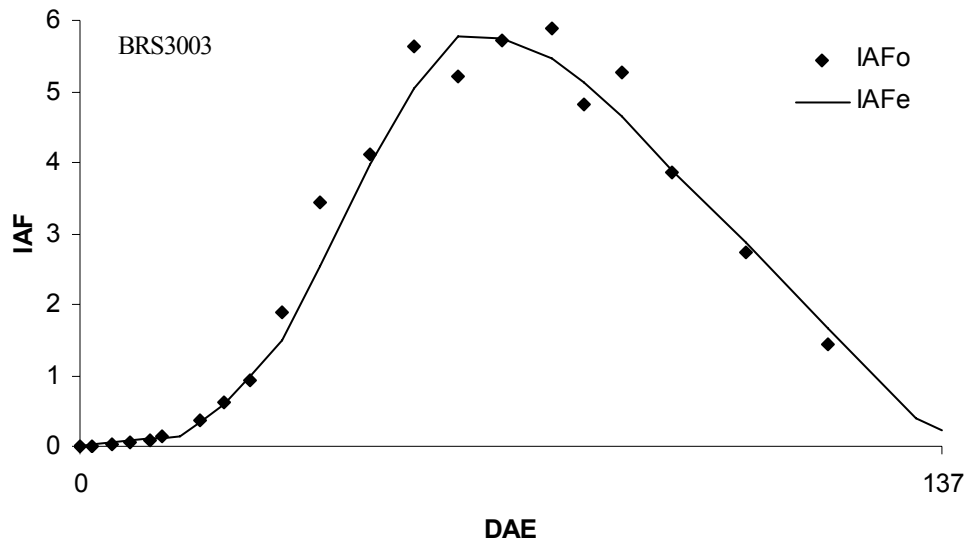


(a)

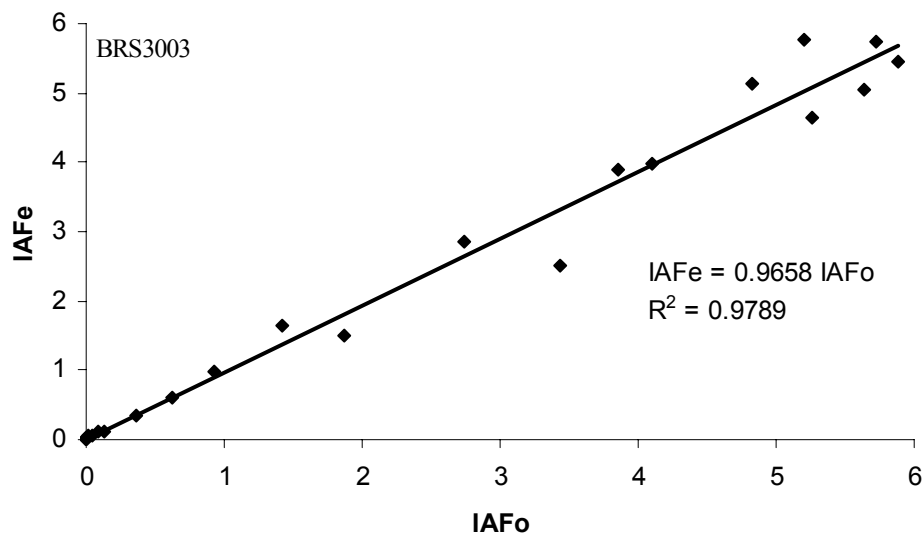


(b)

Figura 4 - Valores médios observados (IAFo) e estimados (IAFe) de índice de área foliar ( $m^2.m^{-2}$ ) da cultura de milho, em função do número de dias após a emergência (DAE), referentes ao genótipo BRS-1010. Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004



(a)



(b)

Figura 5 - Valores médios observados (IAFo) e estimados (IAFe) de índice de área foliar ( $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ ) da cultura de milho, em função do número de dias após a emergência (DAE), referentes ao genótipo BRS-3003. Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Os maiores valores observados de índice de área foliar foram de 6,315, 6,299 e 6,843  $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$  para os genótipos BRS-1001 (Tabela 22 e Figura 3), BRS-1010 (Tabela 23 e Figura 4) e BRS-3003 (Tabela 24 e Figura 5), respectivamente.

O modelo foi capaz de estimar os valores de evolução de IAF, com suficiente precisão, demonstrando a eficiência dos parâmetros utilizados.

### 4.3 Produtividade de grãos

Os valores de produtividade de grãos secos por metro linear ( $Pm$ ,  $g.m^{-1}$ ), com 4 repetições e 10 amostragens por repetição para cada genótipo, estão descritos nas Tabelas 25 (BRS-1001), 26 (BRS-1010) e 27 (BRS-3003).

Os valores de coeficiente de variação para os genótipos BRS-1001, BRS-1010 e BRS-3003 foram, respectivamente, de 16 (Tabela 25), 18 (Tabela 26) e 15% (Tabela 27).

Os valores observados de produtividade de grãos ( $P$ ,  $kg.ha^{-1}$ ), corrigida para 13% de umidade ( $u = 0,13 g.g^{-1}$ ), para os diferentes genótipos estão descritos nas Tabelas 28 (BRS-1001), 26 (BRS-1010) e 27 (BRS-3003). Os valores médios estão apresentados na Tabela 31.

Os valores médios das produtividades dos genótipos BRS-1001 ( $13526 kg.ha^{-1}$ ) e BRS-3003 ( $14381 kg.ha^{-1}$ ) (Tabela 31) não diferiram estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O genótipo BRS-1010 apresentou produtividade superior ( $15585 kg.ha^{-1}$ ), pois o desvio mínimo significativo foi de  $1162,6 kg.ha^{-1}$  (Tabela 31).

Sendo assim, foram estimados dois valores de produtividade potencial de milho em Piracicaba-SP: (i)  $14214 kg.ha^{-1}$  para os genótipos BRS-1001 ( $13526 kg.ha^{-1}$ ) e BRS-3003 ( $14381 kg.ha^{-1}$ ) e (ii)  $15426 kg.ha^{-1}$  para o genótipo BRS-1010 ( $15585 kg.ha^{-1}$ ). Portanto, os erros absolutos e relativos para os genótipos BRS-1001, BRS-1010 e BRS-3003 foram, respectivamente, de  $+688 kg.ha^{-1}$  e  $+5,1\%$  (superestimativa),  $-159 kg.ha^{-1}$  e  $-1,0\%$  (subestimativa) e  $-167 kg.ha^{-1}$  e  $-1,2\%$  (subestimativa). Os erros médios absolutos e relativos para os genótipos BRS-1001 e BRS-3003 foram de  $+428 kg.ha^{-1}$  e  $+3,2\%$  (superestimativa).

Para o cálculo dos erros absolutos ( $Ea$ ,  $kg.ha^{-1}$ ) e relativos ( $Er$ , %), foram utilizadas as seguintes expressões:

$$Ea = Pe - Po \quad (52)$$

$$Er = \frac{Pe - Po}{Po} \cdot 100 \quad (53)$$

em  $Pe$  se refere à produtividade potencial estimada de milho ( $kg.ha^{-1}$ ) pelo modelo LINTUL e  $Po$  à produtividade potencial ( $kg.ha^{-1}$ ) observada experimentalmente.



Tabela 25 - Valores medidos de produtividade de grãos secos por metro linear ( $Pm$ ,  $g.m^{-1}$ ) com 4 repetições ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ ), e com 10 amostragens por repetição para o genótipo BRS-1001. Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Amostragem	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$
1	887,5	886,8	1084,7	960,2
2	1171,1	1025,9	839,3	1064,8
3	922,2	866,5	795,9	1241,2
4	955,4	785,6	916,0	982,7
5	864,0	890,0	853,1	1138,4
6	785,7	1020,8	1252,4	1021,7
7	888,4	1020,2	687,6	820,1
8	679,4	908,1	1050,1	1317,5
9	1218,4	791,6	853,0	858,6
10	753,7	884,2	826,0	888,3

Tabela 26 - Valores medidos de produtividade de grãos secos por metro linear ( $Pm$ ,  $g.m^{-1}$ ) com 4 repetições ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ ), e com 10 amostragens por repetição para o genótipo BRS-1010. Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Amostragem	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$
1	1187,0	1079,9	1097,0	1239,2
2	832,6	1525,4	882,0	1175,4
3	832,1	1050,2	1006,2	1226,8
4	867,0	1070,6	1158,9	1300,5
5	1166,8	1394,7	1083,7	1136,4
6	695,0	1135,3	884,9	789,7
7	1119,1	1094,6	958,4	921,3
8	964,7	1228,8	964,3	1263,6
9	905,6	1465,5	1332,6	1278,5
10	745,0	1187,9	1127,1	1014,3

Tabela 27 - Valores medidos de produtividade de grãos secos por metro linear ( $P_m$ ,  $g.m^{-1}$ ) com 4 repetições ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ ), e com 10 amostragens por repetição para o genótipo BRS-3003. Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Amostragem	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$
1	851,7	961,9	1261,6	997,4
2	964,0	1177,2	1112,4	1047,5
3	894,5	772,2	1162,4	909,9
4	848,4	1106,3	970,1	1087,6
5	1032,3	991,7	714,5	1195,8
6	930,5	916,0	1105,1	1111,5
7	1013,8	1271,3	932,4	942,6
8	760,0	1186,7	974,5	1003,4
9	1220,7	911,4	942,3	1139,5
10	699,1	891,4	757,9	1268,4

Tabela 28 - Valores estimados de produtividade de grãos de milho ( $P$ ,  $kg.ha^{-1}$ ), corrigida para 13% de umidade, com 4 repetições ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ ), e com 10 amostragens por repetição referente ao genótipo BRS-1001. Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Amostragem	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$
1	12751	12741	15585	13796
2	16826	14740	12059	15299
3	13250	12450	11435	17833
4	13727	11287	13161	14119
5	12414	12787	12257	16356
6	11289	14667	17994	14680
7	12764	14658	9879	11783
8	9761	13047	15088	18930
9	17506	11374	12256	12336
10	10829	12704	11868	12763

Tabela 29 - Valores estimados de produtividade de grãos de milho ( $P$ ,  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), corrigida para 13% de umidade, com 4 repetições ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ ), e com 10 amostragens por repetição referente ao genótipo BRS-1010. Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Amostragem	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$
1	17055	15516	15761	17805
2	11963	21917	12672	16888
3	11955	15089	14457	17626
4	12457	15382	16651	18685
5	16764	20039	15570	16328
6	9986	16312	12714	11346
7	16079	15727	13770	13237
8	13861	17655	13855	18155
9	13011	21056	19147	18369
10	10704	17068	16194	14573

Tabela 30 - Valores estimados de produtividade de grãos de milho ( $P$ ,  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), corrigida para 13% de umidade, com 4 repetições ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ ), e com 10 amostragens por repetição referente ao genótipo BRS-3003. Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Amostragem	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$
1	12237	13820	18126	14330
2	13851	16914	15983	15050
3	12852	11095	16701	13073
4	12190	15895	13938	15626
5	14832	14249	10266	17181
6	13369	13161	15878	15970
7	14566	18266	13397	13543
8	10920	17050	14001	14417
9	17539	13095	13539	16372
10	10045	12807	10889	18224

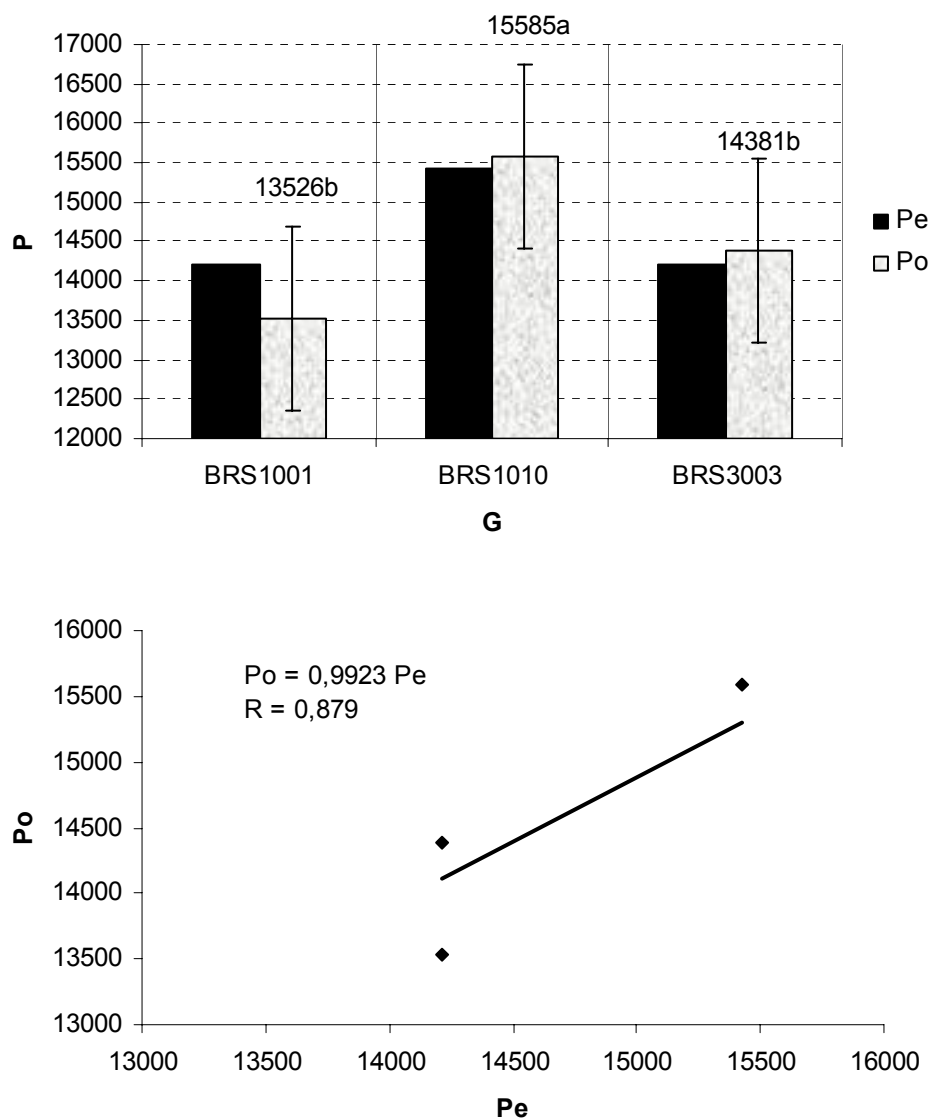


Figura 6 - Comparação entre os valores médios observados ( $P_o$ ) e estimados ( $P_e$ ) de produtividade de grãos de milho ( $P$ ,  $\text{kg.ha}^{-1}$ ) para os três genótipos (BRS-1001, BRS-1010 e BRS-3003) utilizados. Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004 (Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Desvio mínimo significativo:  $1162,6 \text{ kg.ha}^{-1}$ )

Tabela 31 - Valores médios de produtividade de grãos de milho ( $P$ ,  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), corrigida para 13% de umidade, referentes aos genótipos BRS-1001, BRS-1010 e BRS-3003. Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Safra 2003/2004

Genótipo		
BRS-1001	BRS-1010	BRS-3003
13526,3 b	15585,0 a	14381,4 b

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Desvio mínimo significativo:  $1162,6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .



## 5 CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos referentes à parametrização do modelo LINTUL (*Light Interception and Utilization* - Interceptação e Utilização da Luz), com base na comparação dos valores medidos e estimados do índice de área foliar (erro relativo entre -3,6 e +3,9%) e da produtividade potencial (erro relativo entre -1,0 e +3,2%) de grãos da cultura de milho, os valores dos parâmetros são: (i) escala: diária (1 dia); (ii) soma térmica entre a semeadura e emergência: 115°C.dia; (iii) soma térmica entre a emergência e o florescimento: 902°C.dia; (iv) soma térmica entre o florescimento e o ponto de maturidade fisiológica 1009°C.dia; (v) área foliar específica: 0,036 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>; (vi) índice de área foliar inicial: 0,017 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup> (BRS-1001 e BRS-3003) e 0,022 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup> (BRS-1010); (vii) índice de área foliar crítico: 5,7 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>; (viii) temperatura basal inferior: 10°C; (ix) temperatura basal superior: 40°C; (x) temperatura ótima inferior: 28°C; (xi) temperatura ótima superior: 35°C; (xii) eficiência do uso da radiação: 2,38 g.MJ<sup>-1</sup> e (xiii) coeficiente de extinção de luz: 0,7 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>.





## REFERÊNCIAS

- ADDISCOTT, T.M. Simulation modelling and soil behaviour. **Geoderma**, Amsterdam, v.69, p.15-40, 1993.
- ALLISON, J.C.S.; WATSON, D.J. The production and distribution of dry matter in maize after flowering. **Annals of Botany**, Oxford, v.30, n.119, p.366-381, 1966.
- ANDRADE, F.H.; UHART, S.A.; ARGUISSAIN, G.G.; RUIZ, R.A. Radiation use efficiency of maize grown in a cool area. **Field Crops Research**, Amsterdam, n.28, p.345-354, 1992.
- ANDRADE, F.H.; UHART, S.A.; CIRILO, A. Temperature affects radiation use efficiency in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, n.32, p.17-25, 1993.
- AZAM-ALI, S.N.; CROUT, N.M.J; BRADLEY, R.G. Perspectives in modeling resource capture by crops. In: MONTEITH, J.L.; SCOTT, R.K.; UNSWORTH, M.H. (Ed.). **Resource capture by crops**. Nottingham: Nottingham University Press, 1994. p.125-148.
- BARIONI, L.G.; MARTHA JÚNIOR, G.B.; RAMOS, A.K.B.; VELOSO, R.F.; RODRIGUES, D. de C.; VILELA, L. Planejamento e gestão do uso de recursos forrageiros na produção de bovinos em pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 20., 2003. Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2003. p.105-154.
- BARROS, A.H.C. **Análise de crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.)**: Experimentos e modelos. 1998. 85p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- BERGER, J. **Maize production and the manuring of maizes**. Geneva: Center d'Estudo de l'Azote, 1962. p.38-41.
- BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R.; SUTILI, V.R. Relação entre temperatura e o aparecimento de fases fenológicas do milho (*Zea mays* L.). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 111-132, 1984.
- 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, 1976. p.26.
- BERNARDES, M.S. Fotossíntese do dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P.R.C. (Ed.) **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p.13-48.
- BISCOE, P.U.; GALLAGHER, J.N. Weather, dry matter production and yield. In: LANDSBER, J.J.; CUTTING, C.U. (Ed.). **Environmental effects on crop physiology**. London: Academic Press, 1977, 198p.
- BOONS-PRINS, E.R.; KONING DE, G.H.J.; VAN DIEPEN, C.A.; PENNING DE VRIES, F.W.T. **Crop-specific parameters for yield forecasting across the European Community: simulation reports**. Wageningen: CABBO-TT, 1993. (CABO-TT, 32).

BOUMAN, B.A.M.; VAN KEULEN, H.; VAN LAAR, H.H.; RABBINGE, R. The 'School of de Wit' crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v.52, p.171-198, 1996.

BRANDALIZZE, V. **Mercado de milho**: realidade e perspectivas. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.). **Milho**: manejo e produtividade. Piracicaba, USP/ESALQ/LPV, 2009. p.1-12.

CANTRELL, R.G.; GEALDEMANN, J.L. Contribution of truss leaves to maize grain yield. **Crop Science**, Madison, v.21, n.4, p.544-546., 1981.

CARDOSO, C.O.; FARIA, R.T. de; FOLEGATTI, M.V. Aplicação do modelo CERES-maize na análise de estratégias de irrigação para milho “safrinha” em Londrina-PR. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.37-45, 2004.

CONFALONE, A.; NAVARRO, M.D. Influência do *deficit* hídrico sobre a eficiência da radiação solar em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.5, n.3, p.195-198, 1999.

CORRÊA, S.T.R. **Adaptação do modelo LINTUL (Light Interception and Utilization) para estimação da produtividade potencial da cultura de soja**. 2008. 106p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

DE WIT, C.T. **Photosynthesis of leaf canopies**. Wageningen: Pudoc, 1965. 57p. (Agriculture Research Report, 663).

DE WIT, C.T. Simulation of living systems. In: PENNING DE VRIES, F.W.T.; LAAR, H.H. van (Ed.). **Simulation of plant growth and crops production**. Wageningen: Pudoc, 1982. p.3-8.

DE WIT, C.T.; GOUDRIAAN, J. **Simulation of ecological processes**. Wageningen: Center for Agricultural Publishing and Documentation, 1974. 1v.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de GHEYI, H. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOURADO NETO, D. **Modelos fitotécnicos referentes à cultura do milho**. 1999. 229p. Tese (Livre-Docência em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L.; MANFRON, P.A.; PALHARES, M., VIEIRA, P.A. População e distribuição espacial de plantas de milho. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.). **Milho**: estratégias de manejo para alta produtividade. Piracicaba: LPV/ESALQ/USP, 2003. p.116-134.

DUNCAN, W.G.; WILLIAMS, W.R.; LOOMIS, R.S. Maize production. **Crop Science**, Madison, v.7, p.37, 1967.

EMBRAPA. Cultivares de milho disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2003/04. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/cultivares/index.html>. Acesso em: 28 jan. 2004.

EVANS, J.R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C<sub>3</sub> plants. **Oecologia**, Rio de Janeiro, n.78, p.9-19, 1989.

FANCELLI, A.L. **Influência do desfolhamento no desempenho de plantas e de sementes de milho (*Zea mays* L.)**. 1988. 172 p. 1988. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

FANCELLI, A.L. **Milho e feijão**: Elementos para manejo em agricultura irrigada. Departamento de Agricultura/ESALQ/USP. Piracicaba. 1994. 14p.

FANCELLI, A.L. **Plantas Alimentícias**: guia para aula, estudo e discussão. Piracicaba: Centro Acadêmico "Luiz de Queiroz". ESALQ/USP, 1986. 131p.

FANCELLI, A.L. **Qualidade de grãos**. Campinas: Braskalb, 1995. 6p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FELLER, U.; KEIST, M. Senescence and nitrogen metabolism in annual plants. In: LAMBERS, H.; NEESTESON, J.J.; STULEN, I (Ed). **Fundamental, ecological and agricultural aspects of nitrogen metabolism in higher plants**. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1986. p.219-234.

FERRAZ, E.C. Fisiologia do milho. In: \_\_\_\_\_ **Cultura e adubação do milho**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Potassa, 1966. p.369-379.

FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M. **Modelo para a estimação da produtividade de grãos de milho no Estado de São Paulo**. 2004. 68p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L.M.G. Modelagem do crescimento de milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.1, p.59-66, 1999.

GADIOLI, J.L. **Estimativa de rendimento de grãos e caracterização fitotécnica da cultura de milho (*Zea mays* L)**. 1999. 86p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

GOSSE, G.; VARLET-GRANCHER, C.; BOMHOMME, R.; CHARTIER, M.; ALLIRAND, J.M.; LEMAIRE, G. Maximum dry matter production and solar radiation intercepted by a canopy. **Agronomie**, Avignon, n.6, p.47-56, 1986.

GOUDRIAAN, J.; LAAR, H.H. van. **Modelling potential crop growth processes: the textbook with exercises**. Dordrecht: Kluwer, 1992. 239p.

GOUDRIAAN, J.; LAAR, H.H. van. **Modelling potential crop growth processes**: textbook with exercises. Amsterdam: Kluwer Academic Press, 1994. 238p.

HANKS, J.; RITCHIE, J.T. **Modelling plant and soil systems**. Madison: American Society of Agronomy, 1991. 545p. (Agronomy Monograph, 31).

HATCH, M.D.; SLACK, C.R. Photosynthesis by sugarcane leaves. A new carboxylation reaction and the pathway of sugar formation. **Biochemistry Journal**, Auckland, v.101, p.103-111, 1966.

HEEMST, H.D.J. van. Physiological principles. In: KEULEN, H. van.; WOLF, J. **Modeling of agricultural production: Weather, soils and crops**. Wageningen: Pudoc, 1986. p.13-26.

HILL, J. The remobilization of nutrients from leaves. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.2, p.407-444, 1980.

HODGSON, J. **Grazing Management - Science into Practice**. Essex: Longman Scientific & Technical, 1990. 200p.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, n.103, p.137-157, 2000.

JAME, Y.W.; CUTFORTH, H.W. Crop growth models for decision support systems. **Canadian Journal of Plant Science**, Saskatchewan, v.76, p.9-19, 1996.

KEULEN, H. van.; PENNING DE VRIES, F.W.T.; DRESS, E.M. A summary model for crop growth. In: PENNING DE VRIES, F.W.T.; VAN LAAR, H.H. (Ed.). **Simulation of plant growth and crop production**. Wageningen: Pudoc, 1982. p.87-97.

KRAMER, P.J. Fifty years of progress in water relations research. **Plant Physiology**, Rockville, v.54, p.463-471, 1974.

KUBINS, S. Measurement of radiant energy. In: SESTAK, Z.; CATSKY, J.; JARVIS, P.G. **Plant photosynthetic production, manual of methods**. Hague: W. Junk p.702-765. 1971.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 531p.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Ed.). **The ecology and management of grazing systems**. Wallingford: CAB International, 1996. p.3-36.

LIMA, M.G. **Calibração e validação do modelo ceres-maize em condições tropicais do Brasil**. 1995. 119p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A. Maximum crop productivity: an estimate. **Crop Science**, Madison, v.3, n.1, p.67-72, 1963.

- MAGALHÃES, A.C.N.; SILVA, W.J. Determinantes genético-fisiológicos da produtividade do milho. In: PATERNIANI, E. Melhoramento e produção de milho no Brasil Campinas: Fundação 1978. p.346-379.
- MONTEITH, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, London, v.9, p.747-766, 1972.
- MONTEITH, J.L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Transaction Royal Society of London Botany**, London, v.281, p.277-294, 1977.
- MOREIRA, M.A.; ANGULO FILHO, R.; RUDORFF, B.F.T. Eficiência do uso da radiação e índice de colheita em trigo submetido a estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, n.3, p.597-603, 1999.
- MUCHOW, R.C.; DAVIS, R. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. II. Radiation interception and biomass accumulation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.18, p.17-30, 1988.
- MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R. Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field-grown maize sorghum. **Crop Science**, Madison, v.34, p.721-727, 1994.
- MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R., BENNETT, J.M. Temperature and solar radiation effects on potential maize yields across locations. **Agronomy Journal**, Stanford, v.82, p.338-342, 1990.
- NABINGER, C. Manejo da desfolha. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2002. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2002. p.133-158.
- NEL, P.C.; SMIT, N.S.H. **Growth and development stages in the growing maize plant.** Farming in South Africa., 1978. p.1-7.
- PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. (Ed.) **Melhoramento e produção de milho no Brasil** Campinas: Fundação Cargill, 1987. 795p. 2v.
- 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**, Madison, v.56, p.476-488, 1992.
- PEDREIRA, C.G.S.; MELLO, A.C.L. de; OTANI, L. O processo de produção de forragem em pastagens. In: MATTOS, W. R. S. (Org.). **A produção animal na visão dos brasileiros.** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p.772-807.
- PENNING DE VRIES, F.W.T.; SPITTERS, C.J.T. The potential for improvement in crop yield simulation. In: MUCHOW, R.C.; BELLAMY, J.A. (Ed.). **Climatic risk in crop production: models and management for the semi-arid tropics and subtropics.** In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM HELD IN BRISBANE, 1991. Australia. **Proceedings...** Brisbane, 1991. p.3-39.

PENNING DE VRIES, P.K.T.; KROPFF, M.J.; TENG, P.S. **Systems simulation at IRRI**. Manila: IRRI, 1991. p.3-4. (IRRI Res. Pap. Ser., 151).

PEREIRA, C.R. **Análise do crescimento e desenvolvimento da cultura de soja sob diferentes condições ambientais**. 2002. 282p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

PORTES, T. de A.; CARVALHO, S.I.C. de; OLIVEIRA, I.P. de; KLUTHCOUSKI, J. Análise de crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.7, p.1349-1358, 2000.

PROCÓPIO, S.O.; SANTOS, J.B.; SILVA, A.A. da; COSTA, L.C. Desenvolvimento folhar das culturas da soja e do feijão e de planta daninha. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.2, p.207-211, 2003.

ROBSON, M.J. Potential production - What is it and can we increase it? In: WRIGHT, C.E. **Plant physiology and herbage production**. Nottingham, 1981. p.1-18.

ROMANO, M.R. **Desempenho fisiológico da cultura de milho com plantas de arquitetura contrastante: parâmetros para modelos de crescimento**. 101p. 2005. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant physiology**. Los Angeles: Wadsworth Publishing, 1991. 682p.

SANDS, P.J. Modelling canopy production. III – Canopy light-utilisation efficiency and its sensitivity to physiological and environmental variables. **Australian Journal Plant Physiology**, Victoria, n.23, p.103-114, 1996.

SANTOS, J.E. dos Procedimentos básicos para a modelagem ecológica. **Ciência e Cultura**, Campinas, v.36, n.6, p.983-992, 1984.

SCHÖFFEL, E.R.; VOLPE, C.A. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela soja para produção de fitomassa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 241-249, 2001.

SHIBLES, R. M.; WEBER, C. R. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. **Crop Science**, Madison, v.6, n.1, p.55-59, 1966.

SHIBLES, R.M.; WEBER, C.R. Leaf area, solar radiation interception, and dry matter production by various soybean planting patterns. **Crop Science**, Madison, v.6, p.55-59, 1965.

SINCLAIR, T.R. Predicting carbon assimilation and crop radiation-use efficiency dependence on leaf nitrogen content. In: BOOTE, K.J.; LOOMIS, R.S. (Ed.). **Modeling crop photosynthesis-From biochemistry to canopy**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America, 1991. p.75-94. (CSSA. Special Publication, 19).

SINCLAIR, T.R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A review. **Crop Science**, Madison, v.29, p.90-98, 1989.

SINCLAIR, T.R.; MUCHOW, R.C. Radiation use efficiency. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.65, p.215-265, 1999.

SPAETH, S.C.; SINCLAIR, T.R.; OHNUMA, T.; KONNO, S. Temperature, radiation and duration dependence of high soybean yields: measurement and simulation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.16, n.4, p.297-307, 1987.

SPITTERS, C.J.T.; SCHAPENDONK, A.H.C.M. Evaluation of breeding strategies for drought tolerance in potato by means of crop growth simulation. **Plant and Soil**, The Hague, v.123, p.193-203, 1990.

SPITTERS, C.J.T.; TOUSSAINT, H.A.J.; GOUDRIAAN, J. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modelling canopy photosynthesis. I: Components of incoming solar radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, n.38, p.217-229, 1986a.

SPITTERS, C.J.T.; TOUSSAINT, H.A.J.; GOUDRIAAN, J. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modelling canopy photosynthesis. II: Calculation of canopy photosynthesis. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, n.38, p.231-242, 1986b.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Los Angeles: The Benjamin/Cummings, 1998. 559p.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. Trad. SANTARÉM, E. R. et al., 3º ed., Porto Alegre: Artemed, 2004, p.719.

THORNLEY, J.H.M. Grassland dynamics - An Ecosystem Simulation Model. Wallingford: CAB International, 1998. 241p.

THORNLEY, J.H.M. **Mathematical models in plant physiology**: a quantitative approach to problems in plant crop physiology. London: Academic Press, 1976. 318p.

THORNLEY, J.H.M.; JOHNSON, I.R. **Plant and crop modeling**. Oxford: Oxford University Press, 1990. 669p.

VAN OIJEN, M.; LEFFELAAR, P.A. **Lintul-1**: potential crop growth. Wageningen: Pudoc, 2007, 2008. 150p.

VANCLOOSTER, M.; VIAENE, J.; DIELS, J.; CHRISTIAENS, K. **Wave**: a mathematical model for simulating water and agrochemicals in the soil and vadose environment. Leuven: Katholieke Universiteit Leuven Press, 1994. 20p.

VILLA NOVA, N.A.; PEDRO JÚNIOR, M.; PEREIRA, A.R.; OMETTO, J.C. Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima. **Cadernos de Ciências da Terra**, São Paulo, n.30, p.8, 1972.

VILLA NOVA, N.A.; SANTIAGO, A.V.; RESENDE, F.C. **Energia solar**: aspectos físicos e de captura pela biomassa. Piracicaba: ESALQ/USP, 2001. 20p.

WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Washington, v.63, p.1309-1313, 1982.

WRIGHT, G.C.; BELL, M.J.; HAMMER, G.L. Leaf nitrogen content and minimum temperature interactions affect radiation use efficiency in peanut. **Crop Science**, Madison, v.33, p.476-481, 1993.



# 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](#)