

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

**Uso de índices fenológicos em modelos de previsão de  
produtividade do cafeeiro**

**Eduardo Lauriano Alfonsi**

**Tese apresentada para obtenção do título de  
Doutor em Agronomia. Área de Concentração:  
Fitotecnia**

**Piracicaba  
2008**

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.

**Eduardo Lauriano Alfonsi**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Uso de índices fenológicos em modelos de previsão de  
produtividade do cafeeiro**

**Orientador:**  
**Prof. Dr. JOSÉ LAERCIO FAVARIN**

**Co-orientador:**  
**Prof. Dr. JOEL IRINEU FAHL**

**Tese apresentada para obtenção do título de  
Doutor em Agronomia. Área de  
Concentração: Fitotecnia**

**Piracicaba**  
**2008**

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

Alfonsi, Eduardo Lauriano

Uso de índices fenológicos em modelos de previsão de produtividade do cafeeiro /  
Eduardo Lauriano Alfonsi. - - Piracicaba, 2008.  
104 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.  
Bibliografia.

1. Café 2. Fenologia 3. Modelagem de dados 4. Produção vegetal 5. Safra – Previsão  
I. Título

CDD 633.73

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

*“Dedico*

*Aos meus pais, Rogério Remo e Benedita*

*A minha noiva, Waldenilza*

*Aos meus irmãos, Alessandra e Henrique*

*“Pelo amor, carinho e incentivo...”*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Dr. José Laércio Favarin, pela amizade, pela oportunidade concedida, confiança e ensinamentos prestados.

Ao meu co-orientador Dr. Joel Irineu Fahl, pela amizade, pela oportunidade concedida, confiança, ensinamentos prestados e ajuda na idealização do projeto de pesquisa.

Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela concessão da Bolsa de Doutorado.

Ao Departamento de Produção Vegetal da ESALQ e ao Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) pela oportunidade concedida.

Aos Pesquisadores Científicos Dr. Rogério Remo Alfonsi, Dr Marcelo Bento Paes de Camargo e Dr. Glauco de Souza Rolim e ao Engenheiro Agrônomo José Gilberto Hermann, pelas valiosas sugestões e apoio durante a realização do trabalho.

À M.S. Waldenilza Monteiro Vital pela ajuda, companheirismo, conselhos que me ajudaram a vencer mais esse desafio.

Aos Engenheiros Agrônomos da Cooperativa dos cafeicultores de Garça (GARCAFÉ) Gustavo Guerreiro, Tonho, Otobone e Lelo; da CATI de Marília Favoreto; da Cooperativa dos cafeeiros de Marília (COPEMAR) Caetano; e ao engenheiro agrônomo Rui Bonini pela ajuda na obtenção dos dados e escolha das propriedades rurais estudadas na Região de Garça/Marília.

A todo pessoal da Fazenda Monte D'este, em especial ao técnico agrícola e administrador Clovis, por ter disponibilizado a propriedade para coleta de dados.

Aos técnicos agrícolas Edson Ribeiro da Silva, William Moore dos Santos e Sidnei, pela amizade e ajuda na obtenção dos dados de campo.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ, em especial a Luciane, secretária do curso de pós-graduação deste departamento; e a Silvana secretária do Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), pela dedicação e ajuda nos momentos difíceis.

Aos amigos e colegas de turma de graduação (F-98 - ESALQ), Davi Rogério de Moura Costa (Lanterna) e Luis Fernando Loureiro Teixeira (Tersol) pela amizade e hospitalidade durante o curso.

Aos colegas de Pós-graduação da ESALQ, pela amizade.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para mais essa etapa da minha vida.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	9
LISTA DE FIGURAS .....	10
LISTA DE TABELAS .....	15
1 INTRODUÇÃO .....	17
2 DESENVOLVIMENTO.....	19
2.1 Revisão Bibliográfica .....	19
2.1.1 Condições climáticas para a cafeicultura.....	19
2.1.2 Crescimento vegetativo .....	20
2.1.3 Crescimento e desenvolvimento do sistema radicular.....	22
2.1.4 Desenvolvimento reprodutivo .....	23
2.1.4.1 Floração .....	23
2.1.4.2 Iniciação ou indução floral .....	24
2.1.4.3 Desenvolvimento do botão floral e antese.....	25
2.1.4.4 Desenvolvimento dos frutos e maturação.....	27
2.1.5 Fenologia .....	29
2.1.6 Bienalidade .....	34
2.1.7 Modelos de estimativa de produtividade para a cultura do café.....	35
2.2 Material e Métodos.....	42
2.2.1 Local do experimento .....	42
2.2.2 Dados meteorológicos .....	45
2.2.3 Avaliação do experimento .....	46
2.2.4 Modelo matemático fenológico de estimativa de produtividade.....	50
2.2.4.1 Hierarquia de sistema (I + 1) - Talhão.....	50
2.2.4.1.1 Índice fenológico de produtividade 1 (IFP1).....	52
2.2.4.1.2 Índice fenológico de produtividade 2 (IFP2).....	52
2.2.4.2 Hierarquia de sistema (I + 2) - Propriedade rural.....	53
2.2.4.3 Estimativa de produtividade visual (EPVIS).....	53
2.2.4.4 Produtividade observada (PO).....	53

2.2.4.5	Avaliação do modelo .....	54
2.3	Resultados e Discussão.....	58
2.3.1	Condições agrometeorológicas para as regiões de Garça/Marília de 1999/2000 a 2005/2006 e Campinas de 2003/2004 a 2005/2006.....	58
2.3.2	Produtividade observada nas unidades experimentais.....	60
2.3.3	Características fenológicas X produtividade observada.....	63
2.3.4	Hierarquia do sistema (I + 1) - Talhão .....	67
2.3.4.1	Índice fenológico de produtividade 1 e 2 (IFP1 e IFP2) .....	67
2.3.4.2	Produtividade observada X índices fenológicos de produtividade 1 e 2.....	73
2.3.4.3	Testes dos modelos.....	79
2.3.5	Hierarquia do sistema (I + 2) - Propriedade rural.....	87
2.3.5.1	Produtividade observada X índice fenológico de produtividade 1.....	87
2.3.5.2	Testes dos modelos.....	92
3	CONCLUSÃO.....	95
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	96
	REFERÊNCIAS .....	97

## RESUMO

### Uso de índices fenológicos em modelos de previsão de produtividade do cafeeiro

A estimativa antecipada da produção de café das diversas regiões produtoras é muito importante para o estabelecimento da política cafeeira do país. Apesar disso, não existe no Brasil uma metodologia adequada para previsão antecipada da safra de café que permita uma avaliação segura e precisa. As poucas informações para o estabelecimento de modelos para previsão de safra de café são em consequência da complexidade metodológica, ocasionada pela diversidade dos fatores ambientais, culturais e econômicos, envolvidos na produtividade dessa cultura, que devem ser levados em consideração nos modelos de previsão como, por exemplo: cultivares, densidade de plantio, idade da planta, tecnologia empregada, condições edafoclimáticas, etc. Para isso a avaliação das características fenológicas determinantes do desenvolvimento e da produção do cafeeiro é uma ferramenta fundamental no estabelecimento de modelos de previsão de safra. Atualmente as previsões baseiam-se em levantamentos empíricos efetuados visualmente, requerendo, para atingir razoável precisão, técnico ou produtores altamente especializados na cultura. Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver uma metodologia para estimar a produtividade do cafeeiro sem utilizar a contagem total de frutos na planta, com base no uso de índices fenológicos de produtividade, os quais são determinados a partir de quantificações não destrutivas, em uma secção reduzida da planta, e em diferentes épocas e locais de avaliação. A metodologia de previsão de safra, fundamentada em índices fenológicos, foi desenvolvida utilizando dados de duas regiões produtoras de café do Estado de São Paulo: Garça/Marília e Campinas, no período de 1999 a 2006. Os índices fenológicos de produtividades 'IFP1' e 'IFP2' foram determinados pela contagem de frutos, internódios produtivos, altura de planta e espaçamento da lavoura. O trabalho foi subdividido em dois níveis hierárquicos, "talhão" e "propriedade". A metodologia proposta apresentou facilidade de aplicação em ambas as regiões avaliadas. O número de internódios produtivos 'NIP', considerado como característica fisiológica de produção, avaliado para determinação do 'IFP2' apresentou influência negativa para o desempenho do modelo. O desempenho apresentado pelos modelos baseados no 'IFP1' foi classificado como bom ao nível hierárquico "talhão", nas épocas de avaliação de dezembro, janeiro e março e apresentando melhores desempenhos que os modelos baseados no 'IFP2', apesar de uma tendência de subestimar a produtividade. Foi encontrada uma relação linear e uma boa correlação entre os 'IFPs' e a produtividade observada, sendo considerado para o nível hierárquico "talhão" menor do que o apresentado para o nível hierárquico "propriedade rural". Foi comprovado que é possível estimar a produtividade utilizando o 'IFP' com até seis meses de antecedência (dezembro) da colheita, com a mesma precisão. A variação da estimativa de produtividade baseada no 'IFP1' ao nível de "propriedade rural" foi menor do que a apresentada na estimativa da produtividade visual 'EPVIS', variando de 0,4 a 20% e 0,5 a 18% nos meses de dezembro e março, respectivamente comparado ao de 3% a 41% para a estimativa visual. Os modelos baseados no 'IFP1' ao nível hierárquico "propriedade rural" apresentaram desempenho classificado com excelente, para a estimativa de produtividade do cafeeiro.

Palavras-chave: Café; *Coffea arabica*; Fenologia; Índice Fenológico; Previsão de Safra; Produção; Modelagem

## ABSTRACT

### Use the indexes phenological in models of forecast productivity of coffee tree

The early estimate of the production of coffee of the various producing regions is of fundamental importance for the establishment of the coffee policy of the country. Although this, does not exist in Brazil a methodology adjusted for anticipated forecast of the coffee harvest that allows an accurate and precise evaluation. The few information for the establishment of models for forecasting of coffee harvest are consequence of the methodology complexity, caused by the diversity of environmental factors, cultural and economic which should be considered and to be taken into account in model forecasting such as: cultivars , density of planting, age of the plant, technology applied, edafoclimatics conditions, etc.. Therefore the evaluation of the determinative phenological characteristics of the development and the production of the coffee tree is a basic tool in the establishment of models of harvest forecast. Currently the harvest forecast is based on empirical surveys, done visually; requiring people (producers and technical) very well qualified and specialized in the crop to achieve reasonable accuracy. The objective of this study was to develop an objective method to estimate the productivity of coffee without using the total counting fruit in the plant, being based on the use of phenological indexes of productivity, which are determined from not destructive quantifications, in a reduced section of the plant, and at different times and places of evaluation. The methodology of forecasting the harvest, based on phonological indexes, was developed using data from two different producing regions of coffee of the São Paulo State: Garça/Marília and Campinas regions, in the period of 1999 to 2006. The indexes of phenological productivity 'IFP1' and 'IFP2' were determined by counting the fruit, productive internodes, plant height and row spacing of the crop. The study was divided in two hierarchical levels: “plot and farm”. The obtained results showed that the proposed methodology provided good usage methodology and application in both assessed regions. The number of productive internodes ' NIP ', considering the physiological characteristic of production, used for estimation and determination of the “IFP2”, presented negative influence for the performance of the model. The performance presented by the models based on 'IFP1' has been classified as good hierarchical level of “plot”, in the following periods of evaluation: December, January and March and showed that the best performing models is based on 'IFP2', although a trend of a tendency to underestimate the productivity. It was found a linear relationship and a good correlation between 'IFPs' and the observed productivity, being considered for the level of “plot”, a lower level when compared to “farm”. It has been proven that it is possible to estimate the productivity of coffee, using 'IFP' with up to six months in advance of normal period of harvest (December), with the same level of precision. The variation of the estimated productivity based on 'IFP1' to the level of “farm” was lower than that presented in the visual estimated productivity - 'EPVIS', ranging from 0,4 to 20% and 0,5 to 18% during the months of December and March, respectively, and ranged from 3% to 41% for the visual estimation on March. The models based on 'IFP1' at hierarchical level of “farm” have been classified with an optimum performance in order to estimate the coffee productivity.

Keywords: Coffee; *Coffea arabica*; Phenology; Index Phenological; Forecast of Harvest; Production; Modeling

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Esquemática das fases fenológicas do cafeeiro arábica, durante 24 meses, nas condições climáticas tropicais do Brasil. Adaptado de Camargo e Camargo (2001)..32
- Figura 2 - Escala fenológica do cafeeiro arábica. Adaptado de Pezzopane et al. (2003).....33
- Figura 3 - Mapa representativo das regiões cafeeiras do Estado de São Paulo.....42
- Figura 4 - Representação gráfica do sistema de avaliação de uma unidade experimental (UE).....47
- Figura 5 - Representação gráfica das características fenológicas de crescimento e produção do cafeeiro.....49
- Figura 6 - Localização do 4<sup>o</sup> e 5<sup>o</sup> internódios produtivos, localizado em ramos plagiotrópico pequeno (A) e grande (B).....50
- Figura 7 - Representação da área vegetal produtiva (AVP) de um hectare de café plantado em renque (plantio adensado na linha).....51
- Figura 8 - Extrato do balanço hídrico da região de Marília - SP dos anos agrícolas 1999/2000 até 2005/2006.....59
- Figura 9 - Extrato do balanço hídrico da região de Campinas - SP dos anos agrícolas 2003/2004 até 2005/2006.....60
- Figura 10 - Média da produtividade observada (PO) e seus respectivos desvios padrões obtidas nas unidades experimentais (UEs) da região de Garça/Marília - SP, no período de 1999 a 2006.....62

- Figura 11 - Média da produtividade observada (PO) e seus respectivos desvios padrões obtidas nas unidades experimentais (UEs) da região de Campinas - SP, no período de 2003 a 2006.....63
- Figura 12 - Curva de resposta de produtividade observada (PO) em sacas.ha<sup>-1</sup> em função: A) da média de frutos no 4° e 5° internódios produtivos (MF45) e da altura de planta (ALT) em metro; B) da média de frutos no 4° e 5° internódios produtivos (MF45) e da área vegetal produtiva (AVP) em m<sup>2</sup>; C) do produto da média de frutos no 4° e 5° internódios produtivos (MF45) com o número de internódio produtivo no ramo (NIP) e da área vegetal produtiva (AVP) em m<sup>2</sup>, para a safra 2003/2005 na Fazenda Monte D'este.....65
- Figura 13 - Curva de resposta de produtividade observada (PO) em sacas.ha<sup>-1</sup> em função: A) do número de internódio produtivo no ramo (NIP) e da altura de planta (ALT) em metro; B) do número de internódio produtivo no ramo (NIP) e da área vegetal produtiva (AVP) em m<sup>2</sup>; C) do produto da média de frutos no 4° e 5° internódios produtivos (MF45) com o número de internódio produtivo no ramo (NIP) e da altura de planta (ALT) em metros, para a safra 2003/2005 na Fazenda Monte D'este.....66
- Figura 14 - Regressão entre a produtividade observada (PO) e o índice fenológico de produtividade 1 (IFP1) obtidos nas Unidades experimentais (n = 51) da região de Garça e Marília - SP, nos anos agrícolas 1999/2000 a 2004/2005 em dezembro (A) e março (B). As letras entre parêntesis representam os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade, entre os meses selecionados.....73
- Figura 15 - Regressão entre a produtividade observada (PO) e o índice fenológico de produtividade 2 (IFP2) obtidos nas Unidades experimentais (n = 51) da região de Garça e Marília - SP, nos anos agrícolas 1999/2000 a 2004/2005 em dezembro (A) e março (B). As letras entre parêntesis representam os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade, entre os meses selecionados.....73

- Figura 16 - Regressão entre a produtividade observada (PO) e o índice fenológico de produtividade 1 (IFP1) obtidos nas Unidades experimentais (n = 29) da região de Campinas - SP, nos anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005 em outubro (A), dezembro (B), janeiro (C) e março (D). As letras entre parêntesis representam os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade, entre os meses selecionados.....74
- Figura 17 - Regressão entre a produtividade observada (PO) e o índice fenológico de produtividade 2 (IFP2) obtidos nas Unidades experimentais (n = 29) da região de Campinas - SP, nos anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005 em outubro (A), dezembro (B), janeiro (C) e março (D). As letras entre parêntesis representam os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade, entre os meses selecionados.....75
- Figura 18 - Número de ramos amostrados, para cada Unidade experimental (UE), na região de Garça/Marília - SP, com base nos os dados obtidos nos anos agrícolas de 1999/2000 a 2004/2005 para 'IFP1' (A) e 'IFP2' (B) para dezembro e março.....78
- Figura 19 - Número de ramos amostrados, para cada Unidade experimental (UE), na região de Campinas - SP, com base dados obtidos nos anos agrícolas de 2003/2004 e 2004/2005 para 'IFP1' (A) e 'IFP2' (B) para outubro, dezembro, janeiro e março....79
- Figura 20 - Produtividades observadas e estimadas (sacas.ha<sup>-1</sup>) pelo modelo fenológico de produtividade utilizando 'IFP1' parametrizado ao nível de talhão para a localidade de Garça/Marília - SP, nas duas épocas avaliadas dezembro (A) e março (B), para o ano agrícola de 2005/2006.....83
- Figura 21 - Produtividades observadas e estimadas (sacas.ha<sup>-1</sup>) pelo modelo fenológico de produtividade utilizando 'IFP2' parametrizado ao nível de talhão para a localidade de Garça/Marília - SP, nas duas épocas avaliadas dezembro (A) e março (B), para o ano agrícola de 2005/2006.....84

- Figura 22 - Produtividades observadas e estimadas (sacas.ha<sup>-1</sup>) pelo método visual, parametrizado ao nível de talhão para a localidade de Garça/Marília - SP, para o ano agrícola de 2005/2006.....84
- Figura 23 - Produtividades observadas e estimadas (sacas.ha<sup>-1</sup>) pelo modelo fenológico de produtividade utilizando 'IFP1' parametrizado ao nível de talhão para a localidade de Campinas - SP, nas quatro épocas avaliadas outubro (A), dezembro (B), janeiro(C) e março (D), para o ano agrícola de 2005/2006.....85
- Figura 24 - Produtividades observadas e estimadas (sacas.ha<sup>-1</sup>) pelo modelo fenológico de produtividade utilizando 'IFP2' parametrizado ao nível de talhão para a localidade de Campinas - SP, nas quatro épocas avaliadas outubro (A), dezembro (B), janeiro(C) e março (D), para o ano agrícola de 2005/2006.....86
- Figura 25 - Produtividades observadas e estimadas (sacas.ha<sup>-1</sup>) pelo método visual, parametrizado ao nível de talhão para a localidade de Campinas - SP no ano agrícola de 2005/2006.....87
- Figura 26 - Relação entre a produtividade observada (PO) e o índice fenológico de produtividade 1 (IFP1) considerando diferentes períodos de anos agrícolas da região de Garça/Marília - SP, avaliadas no mês de dezembro.....88
- Figura 27 - Regressão entre a produtividade observada (PO) e o índice fenológico de produtividade 1 (IFP1) considerando diferentes períodos de anos agrícolas da região de Garça/Marília - SP, avaliadas no mês de março.....89
- Figura 28 - Regressão entre a produtividade observada (PO) e o índice fenológico de produtividade 1 (IFP1) considerando diferentes períodos de anos agrícolas da região de Campinas - SP, avaliadas no mês de dezembro.....90

- Figura 29 - Regressão entre a produtividade observada (PO) e o índice fenológico de produtividade 1 (IFP1) considerando diferentes períodos de anos agrícolas da região de Campinas- SP, avaliadas no mês de março.....91
- Figura 30- Produtividades observadas e estimadas (sacas.ha<sup>-1</sup>) pelo modelo fenológico de produtividade utilizando IFP1 nos meses de dezembro (A) e março (B) e pelo método visual (C), parametrizados ao nível hierárquico de propriedade rural para as localidades de Garça/Marília (GM) e Campinas (CPS).....93

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 -Unidades experimentais avaliadas na região de Garça/Marília - SP.....	43
Tabela 2 -Unidades experimentais avaliadas na região de Campinas, na Fazenda Monte D'este no município de Campinas - SP; Latitude 22 46, 555' S; Longitude 47 01,855'W.....	44
Tabela 3 -Valores dos coeficientes de desempenho conforme Camargo e Sentelhas (1997) citado por Santos (2005).....	57
Tabela 4 -Produtividade observada (PO) obtidas nas Unidades experimentais (UEs) da região de Garça/Marília - SP, no período de 1999 a 2006.....	61
Tabela 5 -Produtividade observada (PO) obtidas nas Unidades experimentais (UEs) da região de Campinas - SP (Fazenda Monte D'este), no período de 2003 a 2006.....	61
Tabela 6 -Valores do índice fenológico de produtividade 1 (IFP1), obtidos nas UEs avaliadas nos meses de dezembro e março, na região de Garça/Marília - SP, no período de 1999 a 2006.....	68
Tabela 7 -Valores do índice fenológico de produtividade 1 (IFP1), obtidos nas UEs avaliadas nos meses de outubro, dezembro, janeiro e março, na região de Campinas - SP, no período de 2003 a 2006.....	69
Tabela 8 -Valores do índice fenológico de produtividade 2 (IFP2), obtidos nas UEs avaliadas nos meses de dezembro e março, na região de Garça/Marília - SP, no período de 1999 a 2006.....	71
Tabela 9 -Valores do índice fenológico de produtividade 2 (IFP2), obtidos nas UEs avaliadas nos meses de outubro, dezembro, janeiro e março, na região de Campinas - SP, no período de 2003 a 2006.....	72

- Tabela 10 - Resultados das análises estatísticas ( $d$ ,  $R^2$ , EMA, Ea, Es e C) dos testes dos modelos matemáticos fenológicos para o nível de talhão, testados utilizando os dados do ano agrícola de 2005/2006 nas duas regiões estudadas.....80
- Tabela 11 - Resultado da produção estimada, ao nível hierárquico de propriedade rural, através dos modelos baseados no ' IFP1' para os meses de dezembro e março e pela estimativa visual' juntamente com a produção observada, em sacas de café beneficiado (60 kg) na região de Garça/Marília (GM) e Campinas (CPS).....91
- Tabela 12 - Resultados das análises estatísticas ( $d$ ,  $R^2$ , EMA, Ea, Es, C) dos testes dos modelos matemáticos fenológicos para o nível hierárquico de propriedade rural.....92

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior país produtor e exportador de café do mundo, distribuídos em torno de 1850 municípios produtores, em 11 Estados. As áreas produtoras de café no Brasil estão localizadas entre os paralelos 8°S e 26°S, apresentando, em função de sua localização geográfica no globo e do relevo, inúmeros tipos climáticos. O Estado de São Paulo, localizado entre os paralelos 20°S e 25°S e os meridianos 44°W e 53°W, apresenta diferentes condições ambientais, principalmente em função da localização geográfica, da altitude e do tipo de solo, proporcionando particularidades nas diversas regiões produtoras do Estado (Brasil, 2001).

A cafeicultura é um dos setores da economia que contribui decisivamente na formação do PIB nacional, responsável por aproximadamente 8,4 milhões de empregos diretos e indiretos, bem como pela formação ou incremento da renda do produtor. No entanto, a produtividade da cultura do café é afetada, em seus diversos estádios de desenvolvimento, por diferentes fatores ambientais.

As especulações sobre as produções de café no Brasil e no mundo, sem embasamento científico, influenciam diretamente no preço da commodity no mercado. Como conseqüência, afeta substancialmente a cadeia produtiva do agronegócio, principalmente o setor produtivo (negativamente), pois na maioria das vezes são feitas estimativas muito acima da produção esperada.

A estimativa antecipada da produção cafeeira das diversas regiões produtoras é de fundamental importância para o estabelecimento da política cafeeira do país. Apesar da importância que representa, não existe em nosso país uma metodologia adequada para previsão antecipada de safra de café, que permita uma avaliação segura e precisa.

Até final de 1997 a previsão de safra paulista realizada pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral - CATI/SAA-SP era baseada em dados subjetivos, sujeita a erros relativamente amplos, com baixo nível de credibilidade. A partir da coordenação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, no final de 1997 e início de 1998, a metodologia usada pela CATI foi totalmente alterada, passando-se a utilizar o cadastro do Projeto Lupa da Secretaria e Abastecimento/CATI, com o sorteio de 450 a 550 propriedades paulistas produtoras de café, em vários extratos e distribuídas pelas principais regiões cafeeiras. Assim, substituiu a subjetividade pela objetividade. Para a estimativa nacional da produção de café, a Companhia Nacional de

Abastecimento - CONAB adota diferentes metodologias para a obtenção dos dados de produtividade, divididas em 4 grupos, (Grupo 1: MG; Grupo 2: SP, PR, ES, BA, RO; Grupo 3: RJ Grupo 4: demais Estados) unindo as informações, adquiridas nos diferentes Estados, em um relatório divulgado nos meses de janeiro, abril e agosto de cada ano.

A falta de informações tem como origem principal sua complexidade, pela diversidade de fatores ambientais, culturais e econômicos ligados à produtividade da cultura. Com isto, há necessidade de se obter dados de previsão de safras mais seguros, com base em métodos comprovados cientificamente, que considerem as características diferenciais de cada cultura, a tecnologia empregada, as condições edafoclimáticas das diversas regiões cafeeiras do País, para se estabelecer um programa amplo de reorganização da cafeicultura nacional.

Nessa pesquisa foi proposta uma metodologia para estimativa da produtividade do cafeeiro, com base no uso de índices fenológicos de produtividade (IFP1 e IFP2), os quais serão determinados por quantificações não destrutivas, de uma secção reduzida da planta, em diferentes épocas (outubro, dezembro, janeiro e março). Essa metodologia utiliza como referência dois níveis de organização (talhão e propriedade), comparado com a metodologia atual de previsão de produtividade adotada pelo órgão oficial responsável (CONAB), em duas regiões produtoras de café do Estado de São Paulo.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Revisão Bibliográfica**

#### **2.1.1 Condições climáticas para a cafeicultura**

De maneira geral, as diversas espécies vegetais apresentam exigências próprias de condições ambientais para o seu desenvolvimento. Se as condições de luz, temperatura, umidade, disponibilidade de nutrientes no solo forem favoráveis, a planta se desenvolverá normalmente dentro de seu potencial genético máximo. Se um ou mais fatores forem limitados esse desenvolvimento será alterado, dentro de limites de tolerância da planta.

Nas condições brasileiras de cultivo de café, a falta de luz não é um fator limitante para a produtividade, pois o café é cultivado a pleno sol. Mas o excesso de luz sim, pois esta acentua a bionalidade do cafeeiro, além de causar a escaldadura em folhas do cafeeiro, danificando o aparelho fotossintético das mesmas.

Para o cafeeiro, temperaturas médias anuais entre 18 e 23°C, em função dos novos cultivares e manejo da cultura, parecem ser os limites mais indicados no estabelecimento das áreas plenamente aptas à cafeicultura. Os índices térmicos médios anuais considerados ideais para a cafeicultura variam entre 19 e 21°C, desde que sejam regiões livres ou pouco sujeitas a geadas. Regiões onde a temperatura média anual é inferior a 18°C e superior a 23°C são consideradas inaptas ao cultivo de café arábica.

As fases biológicas do cafeeiro têm desenvolvimento e crescimento sensivelmente reduzidos e até bloqueados totalmente, em condições extremas de temperaturas. O cafeeiro é pouco tolerante ao frio, sendo que temperatura de -2°C (menos dois graus), próxima às folhas, já provoca início de danos aos tecidos. Normalmente são observadas geadas esporádicas, com baixa frequência até o paralelo 22° de latitude sul. Entre as latitudes 22 e 25° sul, a frequência de geadas aumenta consideravelmente, principalmente nas áreas cafeicultoras dos Estados de São Paulo e Paraná, com cerca de 25% de probabilidade de ocorrência. De acordo com BRASIL (2001), essas regiões são aptas ao plantio de café, porém apresentando restrições devido às geadas. Nessas regiões deve-se levar em consideração o relevo da área para a instalação da cultura.

Por outro lado, nas regiões onde temperaturas acima de 30°C são frequentes, durante períodos longos, como nas regiões tropicais, onde as médias anuais de temperatura ultrapassam os 22°C, a produção do café arábica a pleno sol é prejudicada. Esses danos ocorrem principalmente na fase do florescimento, quando grande número de botões florais abortam, provocando o aparecimento de flores “estrelas”. Essas regiões cafeeiras são consideradas marginais ao cultivo, com restrição hídrica severa e ou com restrições a temperaturas elevadas não severas no Estado de São Paulo. Essas regiões apresentam, normalmente, altitudes abaixo de 450 metros e deficiência hídrica anual superior a 100 mm (BRASIL, 2001).

### **2.1.2 Crescimento vegetativo**

O cafeeiro é um arbusto de crescimento contínuo com dimorfismo dos ramos, em que os ramos ortotrópicos crescem verticalmente, enquanto os ramos plagiotrópicos crescem lateralmente (CARVALHO et al., 1950; RENA e MAESTRI, 1986). Os ramos plagiotrópicos são originados de gemas diferenciadas, localizadas nas axilas de cada folha do ramo ortotrópico. Normalmente existe uma série ordenada de 5 a 6 gemas (gemas seriadas) e uma gema (cabeça de série), isolada acima da série, que se forma na plântula a partir do 8º e 10º nó (CARVALHO et al., 1950). As gemas seriadas do ramo ortotrópico, dão origem a outro ramo ortotrópico, e as gemas cabeça de série, originam ramos plagiotrópicos, ou ramos produtivos. Nos ramos plagiotrópicos, em cada axila das folhas, também há uma seqüência de gemas seriadas, que em condições ambientais normais são induzidas à formação de botões florais. As gemas cabeça de série dos ramos plagiotrópicos, quando estimuladas a desenvolvem outros ramos plagiotrópicos.

O crescimento do cafeeiro está relacionado com a distribuição sazonal das chuvas, oscilações da temperatura e a variação fotoperiódica, que se configuram como os fatores climáticos mais importantes (MAESTRI e BARROS, 1975). Nas regiões tropicais o crescimento vegetativo é lento durante a estação seca, fria e de dias curtos, que coincide com o outono e inverno, no hemisfério sul. Durante a primavera, caracterizada pelo aumento da temperatura e início do período chuvoso, as plantas florescem e iniciam um novo ciclo de crescimento vegetativo (BARROS e MAESTRI, 1972). Nas regiões equatoriais que apresentam duas estações

chuvosas, as mesmas estão associadas a fase de vigoroso crescimento (TROJER, 1956; CANNELL, 1975).

Em estudo realizado por Barros e Maestri (1972) em Viçosa-MG, região tropical, a irrigação não alterou o ritmo e tampouco a taxa de crescimento do cafeeiro arábica durante a estação seca. O período de crescimento intenso ocorreu de outubro a março, período de dias longos, com temperaturas mais elevadas e disponibilidade de água. Esse comportamento levou os autores a concluir que, o fator hídrico não é determinante da redução do crescimento vegetativo nas estações mais secas e frias do ano (abril - setembro), e que o fotoperíodo e a variação da temperatura são mais importantes na determinação da periodicidade da planta.

Em estudo com plantas de *Coffea arabica* enxertadas sobre *Coffea canephora* e *Coffea congensis*, o crescimento da parte aérea na primavera foi, praticamente, o dobro em relação ao crescimento observado no outono e inverno, e um terço maior daquele ocorrido no verão (Fahl et al., 1998).

Nas regiões equatoriais, Troger (1956) constatou que em Chinchiná na Colômbia, o crescimento vegetativo mais importante inicia após a estação seca (fevereiro - abril). Uma época de crescimento menos pronunciada foi identificada durante os meses de setembro e outubro. Esse autor sugeriu que a relação entre a precipitação e o brilho solar, seria o melhor parâmetro para a definição das zonas climáticas para o cafeeiro. De acordo com Gomez-Gomez (1977) o comprimento do dia, a precipitação e a temperatura média variam pouco durante o ano, e, portanto, não há condições limitantes para o desenvolvimento do cafeeiro nessa região.

A estreita faixa de temperatura favorável ao crescimento e reprodução do cafeeiro parece ser o principal fator para a limitação das áreas aptas ao seu cultivo (Alegre, 1959). O crescimento é pequeno abaixo de 16 °C, enquanto temperaturas inferiores a 12 °C, por longos períodos, paralisam as atividades vegetativas. Temperaturas médias acima de 23 °C também prejudicam o crescimento e a produção. De acordo com o autor, nas regiões equatoriais, o plantio de *C. arabica* só é praticado em altitudes superiores a 1.000 m, onde as temperaturas são amenas.

Plantas cultivadas em regiões com altas temperaturas e com umidade apresentam um crescimento excessivo do ramo ortotrópico, indicador de distúrbio na quantidade de auxina que regula o crescimento da parte aérea (RAMAIAH e GOPAL, 1969).

Há vários fatores que explicam a peridiocidade do crescimento observada em regiões cafeeiras, como seca, temperatura, fotoperíodo, excesso de água, lixiviação de nutrientes por fortes chuvas e alta produtividade (RENA e MAESTRI, 1986).

O crescimento das folhas segue o mesmo ritmo dos ramos (formação do nó), e consiste num processo contínuo durante o ano, cuja taxa modifica sensivelmente com as condições climáticas. No Brasil o número de pares de folhas formados nos ramos varia pouco na estação quente e chuvosa, contudo altera acentuadamente na estação fria e seca.

Essas variações sazonais no crescimento vegetativo são intensivamente influenciadas pela presença de flores e frutos, ou seja, há competição interna por metabólitos de reserva. Quando os frutos começam a se desenvolver (granação) são drenos principais de metabólitos, o que limita a mobilização de assimilados para o crescimento da parte vegetativa (CANNELL e HUXLEY, 1969; CANNELL, 1971).

### **2.1.3 Crescimento e desenvolvimento do sistema radicular**

O crescimento das raízes somente ocorre, quando há disponibilidade de água na planta para manter um certo nível crítico de turgescência nas células radiculares.

Em condições de seca prolongada, podem ocorrer alterações estruturais irreversíveis nas raízes. Só após a reidratação, com a formação de raízes novas, há um restabelecimento do crescimento do sistema radicular (DA MATTA, 1999).

Desidratação mais severas e prolongadas, especialmente na superfície do solo, podem causar morte de raízes, principalmente das suportes das absorventes. Por outro lado, as raízes mais profundas no solo, onde a disponibilidade de água encontra-se bem acima do ponto de murcha permanente, crescem próximo da normalidade, desempenhando papel fundamental para a sobrevivência e mesmo a produção das plantas, suprindo-a de água, minerais e várias substâncias orgânicas (RENA e GUIMARÃES, 2000). Daí a importância para plantas perenes, como o cafeeiro, de um sistema radicular profundo, com distribuição uniforme de radículas em toda a sua extensão.

Alfonsi et al. (2005) mostram que há diferenças na distribuição das raízes secundárias e absorção de nutrientes em diferentes genótipos de *Coffea*, apresentando as plantas do genótipo

*Coffea congensis*, maior profundidade da raiz pivotante e juntamente com plantas do genótipo *Coffea canephora*, maior quantidade de raízes secundárias em camadas mais profundas, comparadas às plantas do genótipo *Coffea arabica*, que já é conhecido por diversos pesquisadores, como um genótipo que possui raízes mais superficiais.

Durante a fase de intenso crescimento vegetativo, a maior parte dos compostos orgânicos produzidos pela planta, é translocado para os ápices vegetativos, que são os sítios dominantes de demanda de assimilados na relação tronco-raízes. Nessa relação as raízes são as mais comprometidas, com crescimento reduzido e limitada absorção de nutrientes. Aparentemente, as raízes passam a constituir drenos preferenciais de assimilados durante o período seco do ano (CANNELL e HUXLEY, 1969; CANNELL, 1971). Esses dados estão de acordo com Huxley et al. (1974) que observaram aumento da atividade radicular entre a profundidade de 45 a 75 centímetros, após período de seca prolongada.

Fatores ambientais como umidade e temperatura diferenciam o crescimento do sistema radicular. Bull (1963), em trabalho com irrigação realizado na Tanzânia, mostrou que a umidade do solo causou uma redução da penetração e desenvolvimento das raízes primárias e secundárias ao longo do perfil do solo.

Franco (1958) estudou o crescimento das raízes e da parte aérea de mudas de café, sob condições controladas, com várias temperaturas no sistema radicular (contínuas ou alternadas). O melhor crescimento, medido sob deficiência hídrica acumulada, foi na combinação de 26/20 °C (temperaturas dia/noite). A relação parte aérea / raiz foi menor no tratamento 26/20 °C, e maior em temperaturas acima desta combinação. Tal fato mostrou que, dentro dos limites de 13 °C até 33 °C, temperaturas baixas têm efeito indireto no crescimento das raízes, e temperaturas elevadas têm um efeito mais direto.

## **2.1.4 Desenvolvimento reprodutivo**

### **2.1.4.1 Floração**

A floração nas plantas compreende uma seqüência de eventos fisiológicos e morfológicos, que vai da indução floral até a antese, passando pela fase intermediária - a evocação floral,

diferenciação ou iniciação dos primórdios florais e desenvolvimento da flor (RENA e MAESTRI, 1986). No cafeeiro podem ser distinguidas três fases: iniciação ou indução floral; desenvolvimento do botão floral; antese ou floração.

#### **2.1.4.2 Iniciação ou indução floral**

Muitos autores apresentam como indutores da floração fatores ambientais, nutricionais e hormonais, como: fotoperíodo, temperatura, água e condições internas da planta.

Admite-se que a espécie *Coffea arabica* é uma planta de dias curtos, como evidenciam trabalhos clássicos feitos por Franco (1940) e Piringer e Borthwick (1955). Esses autores sugerem que o fotoperíodo crítico é em torno de 13-14 horas, limite abaixo do qual o dia pode ser considerado curto para induzir a diferenciação das gemas florais, uma vez que com fotoperíodos de até 13 horas ainda observa iniciação floral, o que não se verifica em fotoperíodos acima de 14 horas.

Como nas regiões cafeeiras do Brasil o comprimento do dia não excede limites diários de 13-14 horas, Rena e Maestri (1986) não admitem o fotoperíodo como regulador da indução floral, fato que contradiz Camargo (1985), o qual relata que, em condições aptas de cultivo, admite-se que o fotoperíodo seja fator condicionante da época de iniciação floral.

A fase de iniciação floral do cafeeiro apresenta alta correlação com o fotoperíodo para as regiões compreendidas fora da faixa equatorial, de 4° de latitude sul e norte (Camargo, 1985). Acima desta latitude, a iniciação floral inicia quando nessas regiões ocorre menos de 13,5 horas de luminosidade efetiva, ou seja, 12,3 horas de brilho solar direto mais 1,2 horas de luz indireta, crepuscular. Segundo o mesmo autor, na faixa equatorial, as plantas cafeeiras comportam-se como não-fotoperiódicas, uma vez que todos os dias do ano apresentam menos de 13,5 horas de luminosidade efetiva, o que significa estarem induzidas durante o ano todo.

O período indutivo, para Gouveia (1984), coincide com a época de diminuição progressiva do comprimento do dia, período que vai de 23 de dezembro a 22 de junho, para as condições de Campinas, SP. Este fato está de acordo com Salisbury (1982), citado pela mesma, e para o qual as respostas fotoperiódicas não ocorrem em razão de um número de horas arbitrário (13 ou 14 horas), mas devido ao aumento ou diminuição progressiva do comprimento do dia.

A temperatura é outro fator que influencia a indução floral como observou Mes (1957), em experimento que avaliou vários termoperíodos sobre a iniciação e crescimento de gemas florais em plantas jovens de *C. arabica* cv. Bourbon, cultivadas em estufas e sob fotoperíodo de 8 horas. O autor observou que o maior número de botões florais por axila foi detectado em cafeeiros cultivados em combinações de temperaturas diurna e noturna amena 23°C/17°C do que em 26°C/20°C. Para o mesmo, a floração foi irregular e reduzida na combinação 30°C/24°C, embora temperaturas mais elevadas tenham favorecido o crescimento dos botões florais. Wormer e Gituanja (1970), em experimento no Quênia, também constataram que as taxas de diferenciação floral foram altas nos meses frios do ano.

A formação de gemas florais em plantas perenes tem sido relacionada a déficit hídrico moderado (Gouveia, 1984). Para a autora, outros trabalhos em diversas regiões produtivas no mundo, relacionam o balanço hídrico da região com a indução floral do cafeeiro, e que a diferenciação das gemas florais parece ser beneficiada durante a época mais seca.

Diversos trabalhos citados por Barros e Maestri (1978), relacionaram a relação carbono/nitrogênio com a iniciação floral, uma vez que a C/N estimula o aparecimento de botões florais em diversas plantas. Plantas cultivadas ao sol apresentam relação C/N mais alta que plantas cultivadas à sombra, e quando induzidas a elevada relação C/N estimula a formação de maior número de gemas floríferas. Isso se deve talvez a uma intensa mobilização de reservas das folhas e dos ramos pela gemas florais em iniciação (JANARDHAN et al., 1971), e também pelo aumento de giberelina em plantas sombreadas, cuja ação consiste na inibição da diferenciação de gemas florais em plantas dicotiledôneas (GOUVEIA, 1984).

Em vários trabalhos em cafeeiro citados por Mazzafera e Guerreiro Filho (1991), evidenciam que a atividade da giberelina influencia na iniciação floral, tanto no atraso como na diminuição do número de flores.

#### **2.1.4.3 Desenvolvimento do botão floral e antese**

Muitos trabalhos sobre floração do cafeeiro focaram a dormência do botão floral, como podem ser observadas em diversas revisões sobre o assunto.

Após a diferenciação ou iniciação, os botões florais entram em fase de crescimento contínuo, em torno de dois meses (GOUVEIA, 1984) até atingir 4 a 8 mm, quando entram em dormência durante semanas ou meses, em razão das condições climáticas (FREDERICO e MAESTRI, 1970).

O período de dormência dos botões florais, nas condições brasileiras, coincide com a época seca, e termina quando o estímulo para a floração ocorre com as primeiras chuvas (acima de 15 mm) pela hidratação da planta e abaixamento da temperatura, depois de um período seco (FREDERICO e MAESTRI, 1970; GOUVEIA, 1984). O estresse hídrico acentuado não é uma condição necessária para as floradas ocorrerem, mas contribui para a concentração das floradas, por impedir a antese antecipada das gemas mais adiantadas e acelerar a etapa final de diferenciação das demais gemas (GOUVEIA, 1984).

Na fase sem crescimento dos botões, em época seca acentuada, acumula uma grande quantidade de inibidores de crescimento, como ácido abicísico, o que estabelece um balanço desfavorável na relação entre promotores (giberelina e citocinina) e inibidores (ácido abicísico) Thomaziello et al. (2000). Nas revisões de Barros e Maestri (1978); Gouveia (1984); Rena e Maestri (1986) são citadas pesquisas de diversos autores, em que relaciona a dormência e sua eliminação por ação de hormônios, como: giberelina, auxina, citocinina e ácido abicísico.

A quebra da dormência e o desencadeamento da florada podem estar relacionados não só à reidratação da planta, mas também com a rápida queda de temperatura que se verifica durante uma chuva. Associado a esses fatores, inúmeros reguladores de crescimento (giberelina, citocinina e ácido abicísico) atuam internamente na planta (RENA e MAESTRI, 1986; THOMAZIELLO et al., 2000).

Com a quebra da dormência, o teor de citocinina aumenta no xilema, atuando nos botões a partir do segundo dia. A citocinina pode aliviar o efeito dos inibidores e acelerar a mobilização de assimilados das folhas ou estimular a divisão das células-mãe dos microsporos (RENA e MAESTRI, 1987).

Após um período seco, as primeiras chuvas estimulam o reinício do crescimento dos botões florais, ocorre à quebra da dormência, que se estende até a abertura das flores, aproximadamente 8 a 15 dias depois da chuva.

A massa seca e fresca dos botões aumenta cerca de 6 a 25 vezes respectivamente, durante o período de rápido desenvolvimento até a antese, o que implica em grande mobilização de água e nutrientes para os botões florais (TOMAZIELLO et al. 2000).

A ocorrência de chuvas acima de 10 mm é suficiente para a abertura dos botões florais, e o número de flores relaciona diretamente com o número de folhas por nó e por ramo, com a reserva de amido do lenho dos ramos e com as condições gerais da planta. Barros et al. (1982) observaram que são necessários 4,7 cm<sup>2</sup> de área foliar para a abertura de uma flor. Os mesmos autores verificaram que os botões florais são capazes de utilizar carboidratos de outras folhas, não localizadas no mesmo internódio do botão, bem como do ramo, em ambas as direções (ascendente e descendente).

O pegamento da florada depende grandemente do grau de enfolhamento da planta, haja vista que ramos com poucas folhas resultam numa pequena quantidade de flores e, posteriormente, de frutos (MAGALHÃES e ANGELOCCI, 1976).

Em determinadas situações aparecem flores atrofiadas ou anormais que abrem prematuramente, denominadas de “estrelinhas”. Os fatores ambientais que contribuem para o seu aparecimento são: período de seca prolongado antes da florada, quantidade insuficiente de chuvas e temperaturas extremas durante a antese (THOMAZIELLO et al., 2000).

A abertura prematura dos botões florais reduz muito as possibilidades de polinização, cerca de 40% a 80% em alguns casos, devido à exposição das partes internas da flor (estiletos, estigma e anteras) (HUXLEY e ISMAIL, 1969). Em casos extremos de anormalidades, todas as partes internas das flores permanecem verdes e atrofiadas, e os lobos da corola abrem-se ligeiramente. A exposição dos dois estiletos resulta na esterilidade da flor (RENA e MAESTRI, 1986).

#### **2.1.4.4 Desenvolvimento dos frutos e maturação**

O crescimento dos frutos do cafeeiro apresenta uma fase visível e outra não visível, seguindo um modelo de dupla sigmóide. Inicialmente, após a queda da flor, o crescimento é pequeno, período que apresenta uma duração de, aproximadamente, 6 semanas - denominado de “fruto chumbinho”. Segue, posteriormente, um período de crescimento rápido até o fruto verde

atingir o tamanho final, onde o endocarpo endurece (pergaminho). Nota-se que o crescimento cessa por um longo período até o início da maturação, quando reinicia com o fruto aumentando rapidamente de tamanho. No período de paralisação do crescimento visual, os fotoassimilados são destinados à formação do endosperma, que ocorre durante a parte final da expansão (endosperma leitoso ou perisperma) e o endurecimento do endosperma, que continua até o início da maturação (granação). A película prateada aderida ao grão é o resíduo do perisperma, que ao final da formação do endosperma, perde água e endurece, quando inicia a maturação. Todo esse período descrito, desde a antese até o fruto verde atingir o tamanho máximo dura em torno de 4 a 6 meses (RENA e MAESTRI, 1987).

O tamanho das sementes é definido no período da expansão rápida, logo após a fase “fruto chumbinho”, caracterizada por uma acentuada expansão, quando define o tamanho do endocarpo (pergaminho). Uma vez definido o “pergaminho”, as sementes não podem mais crescer em tamanho, devido a sua rigidez, determinando assim o tamanho da própria semente. Esse período depende muito da água ou do estado hídrico da planta, pois a ocorrência de estresse hídrico, juntamente com temperaturas elevadas, acarretará na formação de sementes pequenas e menor rendimento do cafezal. Portanto, o tamanho das sementes é determinado pela disponibilidade de água no solo e da temperatura no período.

A queda de “fruto chumbinho” ocorre no início do período de expansão rápida dos frutos, cujo crescimento inicial em tamanho é praticamente coincidente com a formação do perisperma, tecido aquoso translúcido, firme e que ocupa todo o interior do fruto, com a finalidade de fornecer água e nutrientes ao endosperma. Nessa fase de formação do perisperma, a falta de água levaria a queda prematura de frutos (MAZZAFERA e OLIVEIRO FILHO, 1991). Rena e Maestri, (1987), também associam a queda prematura de frutos na fase inicial, aos efeitos de tensões hídricas submetidas nos “frutos chumbinho”.

Durante a formação das sementes (granação), os frutos atuam como dreno forte de carboidratos e minerais, o que limita a mobilização de assimilados e o crescimento das partes vegetativas (CARELLI et al., 1989). Essa mobilização intensa de fotoassimilados pelos frutos, provoca o esgotamento do cafeeiro, cujo resultado é a seca de ponteiros e a produção bienal. Este período também é crítico para a produção, pois a ocorrência temporária de estresse hídrico (veranico), a alta demanda evaporativa do ar e baixo suprimento de nutrientes orgânicos e

minerais prejudicam a formação das sementes, que ocasiona a queda prematura de frutos (CARELLI et al., 1989; THOMAZIELLO et al., 2000).

Na maioria das condições brasileiras o amadurecimento dos frutos ocorre cerca de 30 a 35 semanas após a antese, com visível mudança de cor, que passa de verde a vermelha ou amarela, conforme a cultivar. Para isso, aumenta a atividade respiratória e a síntese de etileno, acompanhado do metabolismo de açúcares e ácidos, degradação da clorofila e síntese de pigmentos responsáveis pela mudança de cor (PIMENTA, 2003). Além da aparente mudança de cor ocorrem outras modificações, como o aumento do pericarpo e deposição de matéria seca no endocarpo. Os teores de nitrogênio e proteínas insolúveis apresentam uma tendência de aumento durante a maturação. No entanto, as proteínas solúveis e os aminoácidos aumentam somente no final da maturação, processo que demora dois meses dependendo das condições climáticas e da cultivar (RENA e MAESTRI, 1987).

### 2.1.5 Fenologia

A fenologia pode ser definida como o estudo dos eventos periódicos da vida da planta em função de suas reações as condições do ambiente (FANCELLI e DOURADO NETO, 1997). As relações e o grau de influência dos fatores envolvidos podem ser determinados com a ordenação das fases fenológicas da cultura (PEZZOPANE, 2004). Desta forma, CAMARGO e CAMARGO (2001), apresentaram um modelo simples (figura 1), para definir e esquematizar a seqüência de fases fenológicas do cafeeiro arábica, nas condições tropicais do Brasil. Posteriormente Pezzopane et al. (2003), propuseram uma escala visual de avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro, baseadas em fotografias, através de notas de 0 a 11 ilustrada na figura 2, para melhor visualização do comportamento fenológico do cafeeiro.

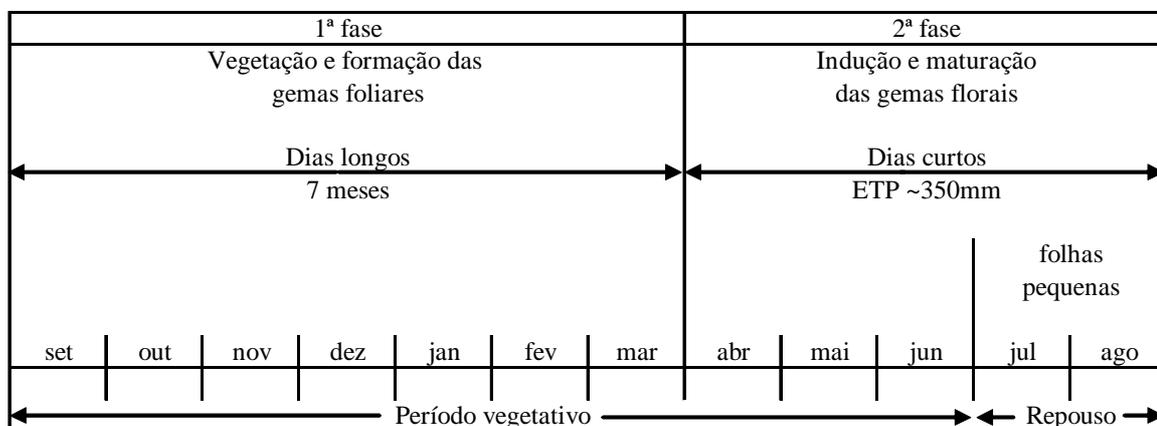
O modelo de Camargo e Camargo (2001) é dividido em dois anos fenológicos e seis fases. O primeiro ano fenológico apresenta-se em duas fases (primeira e segunda), e o segundo ano fenológico, em quatro fases (terceira, quarta, quinta e sexta):

- **Fase inicial ou primeira fase:** abrange os meses de setembro a março. Corresponde a um período de dias longos, com fotoperíodo acima de 13-14 horas de luz efetiva. É a fase da vegetação e formação das gemas foliares.

- **Segunda fase:** vai de abril a agosto, também depende da condição fotoperiódica, é um período de dias curtos. Corresponde a indução, maturação e dormência das gemas florais, formadas na primeira fase. Estas gemas ficam aptas a se transformarem em botões florais e florescerem após um choque hídrico ocorrido na terceira fase (GOUVEIA, 1984). Essa fase se completa quando o somatório de evapotranspiração potencial, que significa o ganho de energia, acumula cerca de 350 mm a partir do início de abril (MEIRELES et al., 2004). No final desta fase, em julho a agosto, as plantas entram num relativo repouso da parte aérea emitindo um ou dois pares de folhas bem pequenos. É neste período que há o crescimento radicular, pois as raízes passam a ser o dreno principal dos fotoassimilados do cafeeiro (CANNELL e HUXLEY, 1969; CANNELL, 1971). Nota zero (0) na escala proposta por Pezzopane et al. (2003).
- **Terceira fase:** inicia-se com a florada após um choque hídrico provocado por uma chuva ou irrigação, promovendo um aumento do potencial hídrico nas gemas florais maduras. Estas se transformam em botões florais e florescem após cerca de uma semana. Em seguida vem a fase de frutos “chumbinho” e expansão rápida (MEIRELES et al., 2004). Esta fase vai de setembro até dezembro. A água e a temperatura têm grande importância nesta fase. Água, para uma florada principal (irrigação com muita frequência não define uma florada) e crescimento dos frutos. Pode resultar em peneira baixa se houver estiagem muito forte nesta época. A temperatura, se muito elevada e acompanhada de um intenso déficit hídrico resulta em flores estrela e posterior abortamento das flores. Notas um (1), dois (2), três (3), quatro (4), cinco (5) e seis (6) na escala proposta por Pezzopane et al. (2003).
- **Quarta fase:** ocorre nos meses de janeiro a março, correspondendo a granação dos frutos. Estiagens severas nesta época podem causar defeitos nos frutos, como: preto, verde e ardido; como também o chochamento dos frutos. Nota sete (7) na escala proposta por Pezzopane et al. (2003).

- **Quinta fase:** corresponde a maturação dos frutos. Abrange normalmente os meses de abril a junho. Depende da precocidade da cultivar e da acumulação de energia solar, ou seja, do somatório de evapotranspiração, em torno de 700 mm, após a florada (MEIRELES et al., 2004). Esta fase é importante na determinação da qualidade do produto. Notas oito (8), nove (9), dez (10) e onze (11) na escala proposta por Pezzopane et al. (2003).
- **Sexta fase:** ocorre nos meses de julho e agosto, correspondendo a ao repouso e senescência do cafeeiro após colheita.

### 1º Ano Fenológico



### 2º Ano Fenológico

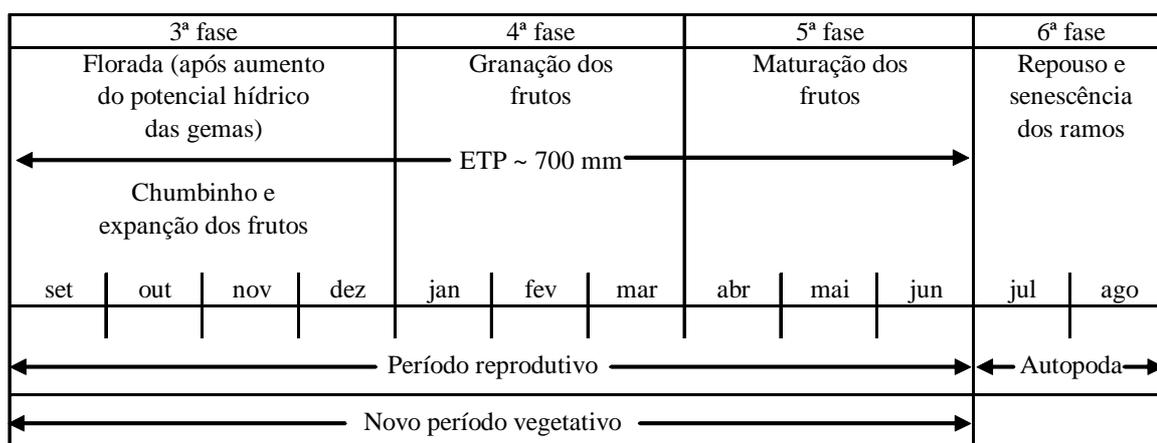


Figura 1 - Esquematisação das seis fases fenológicas do cafeeiro arábica, durante 24 meses, nas condições climáticas tropicais do Brasil. Adaptado de Camargo e Camargo (2001)

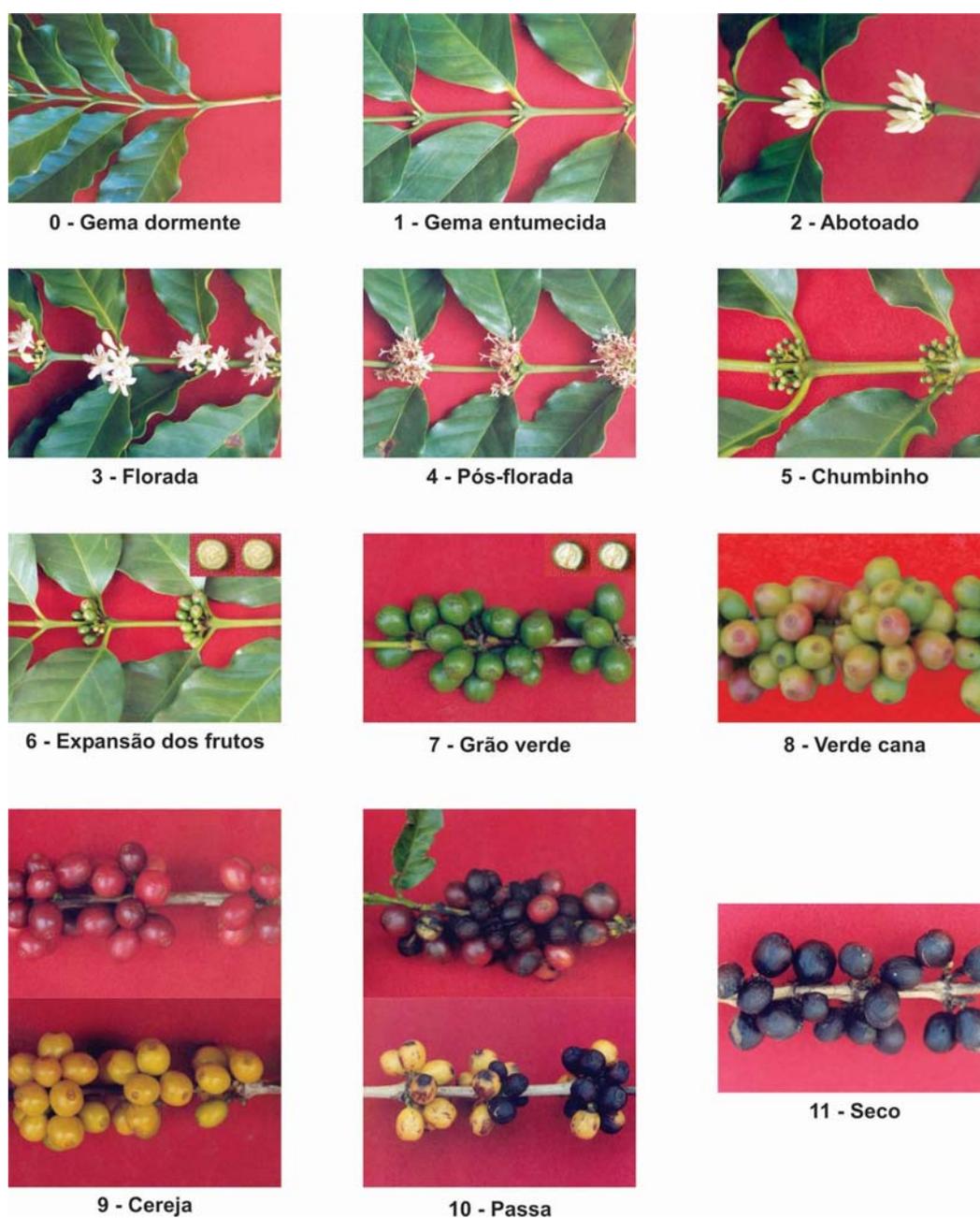


Figura 2 - Escala fenológica do cafeeiro arábica. Adaptado de Pezzopane et al. (2003)

### 2.1.6 Bionalidade

O ciclo bional do cafeeiro é definido como a alternância de produção entre safras sucessivas, em que após uma safra elevada de grãos segue uma safra de baixa produção. Essa é uma característica de cultivos a pleno sol. A natureza fisiológica da bionalidade de produção do cafeeiro se deve a dois fatos em conjunto (1) a concorrência por fotoassimilados entre as funções vegetativas e reprodutivas (FAHL et al. 2001) e (2) a produção ocorre, significativamente, nas partes dos ramos que ainda não produziram e cresceram na estação anterior.

As folhas do cafeeiro são fontes de assimilados pela sua capacidade fotossintetizante, das quais são exportados carboidratos para os drenos - os órgãos armazenadores (tronco e ramos) (BARROS, 1997). Segundo o autor, tecidos em crescimento, que estejam armazenando ou metabolizando aceleradamente, constituem-se como drenos e nesse caso, incluem as folhas jovens, formação das flores, frutos, ápices de raízes e ramos.

Os fotoassimilados no cafeeiro são distribuídos dentro da planta de acordo com a força dreno, sendo a parte reprodutiva superior em relação à vegetativa. Em anos de alta produtividade o desenvolvimento dos frutos absorve a maior parte dos fotoassimilados da planta, prejudicando o crescimento vegetativo (formação de internódios). Como a florada ocorrerá nas partes novas dos ramos formados no ano anterior, a produção seguinte será inferior (SEGURA-MONGE, 1994; FAHL et al. 2001). Para os autores, a interação fonte e dreno, que ocorre nas fases reprodutiva e vegetativa, determinam a bionalidade do cafeeiro, pois o crescimento dos novos ramos depende da quantidade de frutos em desenvolvimento nos ramos do ano anterior, e o volume de produção é proporcional ao número de nós ou gemas florais formadas na estação vegetativa anterior, que é influenciada pela quantidade de frutos presentes no ramo.

A diferenciação das gemas florais em cafeeiro é retardada e restringida pela presença de grandes quantidades de frutos nos ramos, em consequência, possivelmente pela ação combinada de fatores hormonais e nutricionais Gouveia (1984). Fahl et al. (2001) mostraram que a elevada produção acarreta um pequeno crescimento vegetativo, em virtude da exaustão das reservas de carboidratos, restrição das atividades dos ápices de crescimento, redução da emissão de ramos laterais e diminuição da atividade do sistema radicular, como resultado da competição por fotoassimilados pelos diferentes tecidos da planta.

Adversidades climáticas como veranicos, geadas e excessos de chuva, podem alterar, intensificar ou amenizar a bienalidade do cafeeiro. Dependendo do estágio fenológico que ocorram, ou da intensidade e período de duração, podem interferir mais ou menos na produtividade. Os efeitos de geadas severas e déficits hídricos acentuados, reduz expressivamente a produtividade do cafeeiro, como analisado por Fahl et al. (2001) para a região de Mococa, SP., nos anos de 1985 a 2000.

O sombreamento moderado do cafeeiro, por meio da arborização diminui a bienalidade do cafeeiro, pois evita produções elevadas e, conseqüentemente, aumenta a produção nos anos de baixa (CARELLI et al., 2001).

### **2.1.7 Modelos de estimativa de produtividade para a cultura do café**

A estimativa antecipada da produção cafeeira das diversas regiões produtoras é de fundamental importância para o estabelecimento da política cafeeira do país. Apesar da importância que representa, não existe no Brasil uma metodologia adequada para previsão antecipada de safra de café, que permita uma avaliação segura e precisa. Atualmente existem diversos trabalhos isolados, a maioria de categoria empírica ou semi-empírica, que dão ênfase ao efeito de um determinado fator, como por exemplo, o estresse hídrico na produtividade das culturas. Esses trabalhos têm sido muito importantes para o melhor entendimento da relação ambiente-cultura, mas apresentam com grande restrição o fato de não considerarem a planta como um todo, desprezando assim, vários mecanismos envolvidos no sistema solo-planta-atmosfera.

Até final de 1997 a previsão de safra paulista realizada pela CATI era baseada em dados subjetivos, sujeita a erros relativamente amplos, que conduzia a baixo nível de credibilidade.

A partir da coordenação da EMBRAPA, no final de 1997 e início de 1998, a metodologia usada pela CATI foi totalmente alterada, passando-se a utilizar o cadastro do Projeto Lupa da Secretaria da Agricultura e Abastecimento/CATI, com o sorteio de 450 a 550 propriedades produtoras de café, em vários extratos de tecnologia empregada e distribuídas pelas principais regiões cafeeiras. Passou-se assim da subjetividade para a objetividade.

Sabe-se que o cafeeiro arábica é afetado nos seus diversos estádios fenológicos pelas condições meteorológicas, em especial pela disponibilidade hídrica, que constitui o principal fator que afeta sua produtividade biológica e econômica. Além desse tipo de condicionamento, o clima interfere na bienalidade produtiva, na qualidade do produto e na sustentabilidade da planta (PICINI et al., 1999).

Segundo Boyer (1969), o déficit hídrico constitui em um dos principais fatores limitantes da produção do cafeeiro, pois altera o metabolismo da planta e é um fenômeno que ocorre em grandes áreas cultivadas. Confalone e Dujmovich (1999) desenvolveram estudos para verificar os efeitos da deficiência hídrica em determinados estádios fenológicos no crescimento e desenvolvimento de plantas de soja. Em citros, Ben Mechila e Carrol (1989), verificaram o efeito depressivo da baixa disponibilidade hídrica no estabelecimento da frutificação, causada por elevados níveis de evapotranspiração e pela ocorrência de deficiência hídrica durante as fases de florescimento e pegamento dos frutos.

As interações entre o clima e a produtividade podem ser calculadas por meio de modelos matemáticos de simulação, que procuram quantificar os efeitos das variações do clima sobre o comportamento vegetal (ROBERTSON, 1983).

Costa (1997) define que no conceito de modelos de simulação devem ser considerados três termos: sistema, modelo e simulação. **Sistema** é uma parte limitada da realidade que contém vários elementos interrelacionados; **modelo** é uma representação simplificada de um sistema; **simulação** é a arte de construir modelos matemáticos e de estudar suas propriedades em relação à do sistema.

De acordo com Acock e Acock (1991) o estudo do efeito do clima na produção vegetal é classificado em três tipos de modelos: “empírico-estatístico”, “matemático-mecanístico” e “conceitual”. O “**empírico-estatístico**” é o mais simples e descreve as relações entre variáveis, sem considerar os processos, apresentando muitas restrições para a extrapolação de resultados. Para Costa (1997), modelos empíricos são modelos que se baseiam simplesmente na interação quantitativa entre os elementos considerado no mesmo. Normalmente tais modelos fundamentam-se em relações derivadas a partir de análise de regressões e, necessitam de grande número de dados para o seu desenvolvimento. Em sendo uma mera descrição matemática-estatística dos dados, os modelos empíricos não consideram o entendimento científico do sistema. São modelos que representam grandes restrições quanto à extrapolação de seus resultados, mas

no entanto tem grande potencial na previsão de certos fenômenos, como por exemplo produtividade de culturas, dentro da região em que foi desenvolvido.

O modelo “**matemático-mecânico**”, é mais simples que o modelo “conceitual”, descreve matematicamente a casualidade ou a relação entre os processos envolvidos durante o ciclo da cultura, possuindo menores restrições em relação à extrapolação de resultados do que o “empírico-estatístico” (ACOCK e ACOCK, 1991). Tais modelos procuram entender o que ocorre no nível da planta baseado nos processos que ocorrem no nível dos órgãos. Esses modelos apresentam grandes dificuldades na obtenção dos dados necessários para a sua aplicação. Por outro lado, tais modelos não apresentam restrição à extrapolação geográfica e espacial dos resultados (COSTA 1997).

O modelo “**conceitual**”, o mais complexo, requer grande número de informações dos processos físicos e biológicos envolvidos, como é constituído o modelo de simulação de crescimento, maturação e produtividade, proposto por Ben Mechila e Carrol (1989) para a cultura da laranja.

Devido à complexidade dos fatores a serem considerados dentro de um sistema para se desenvolver um modelo de previsão de produtividade, há a necessidade de criação de diferentes níveis de organização, a chamada hierarquia de sistemas. Esta hierarquia de sistemas foi dividida da seguinte forma por (COSTA 1997): (1) nível I + 4, descrito como região; (2) I + 3, município; (3) I + 2, propriedade; (4) I + 1, talhão; (5) I, planta; (6) I - 1, órgãos e (7) I - 2, tecido.

Para a cultura do café, foram desenvolvidos diversos modelos que relacionam clima com a produtividade do cafeeiro em diferentes níveis hierárquicos (SILVA, 1956; TOSELLO e ARRUDA, 1962; REIS, 1972; CAMARGO et al., 1984; LIU e LIU, 1988; PICINI et al., 1999; CAMARGO et al., 2003).

Silva (1956) estudou as causas de variação anual da produtividade do cafeeiro, descrevendo a biologia da frutificação e estabelecendo a sua dependência para três períodos pluviais que antecedem a colheita. Foi feita uma regressão múltipla das produções anuais com as chuvas dos três períodos pluviais pré-determinados, obtendo-se coeficientes de regressão não significativo. Resultados positivos foram alcançados com o estudo de regressão linear entre atuais produções e precedentes, obtendo-se coeficiente de regressão altamente significativo (-0,66; -0,80), levando-se a concluir que a produção do cafeeiro esta relacionada com a produção do ano anterior.

Ainda considerando as precipitações pluviométricas sobre a produção do café, Tosello e Arruda (1962), estudaram estas relações para 14 municípios do Estado de São Paulo, obtendo aumento nas correlações com a elevação das médias de produtividades dos municípios. Quanto à precipitação, as correlações mais estreitas com a produção, foram observadas nos períodos de abril-setembro e julho-setembro. Em relação à deficiência hídrica no solo, os resultados foram comparáveis aos acima mencionado.

Reis (1972) analisando o período de 1961 a 1969, observou que o máximo rendimento na safra de 1966/67 para o Estado de São Paulo foi associado a fatores climáticos, como baixo nível de deficiência hídrica, índices de precipitação próximo ao normal, baixo número médio de meses secos na florada, alta precipitação na granação e precipitação normal no início do período vegetativo. O mesmo autor verificou durante todo o intervalo analisado, uma relação inversa entre a temperatura média na época de florescimento e o rendimento da cultura. Associou que o baixo rendimento da safra 1963/64 para o Estado do Paraná é explicado não apenas pela geada severa no mês de agosto de 1963, mas também pela elevada deficiência hídrica e altas temperaturas na época do florescimento.

Também adotando parâmetros climáticos (total de precipitação pluviométrica, frequência de chuva) relacionados com a produção de café do ano anterior, Camargo et al. (1984), dividiram o ano agrícola em trimestres, para os quais foram feitas regressões lineares múltiplas entre os parâmetros climáticos com a produtividade. Verificaram que o período que apresentou melhor correlação com a produção foi o período de julho a setembro, relativo às fases fenológicas de crescimento dos botões florais e florescimento do cafeeiro, com coeficientes de determinação de 0,83 e 0,87, para as regiões de Mococa e de Ribeirão Preto, respectivamente.

Liu e Liu (1988) desenvolveram e avaliaram três modelos de previsão de safra, obtidos pelo processo de regressão múltipla, considerados como: a) modelo simples; b) modelo bienal, aplicando para os anos pares e para os anos ímpares; c) modelo composto desses três modelos. Os autores utilizaram para o processo de construção desses modelos, fatores climáticos, como precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, evapotranspiração potencial, excesso e deficiência hídrica. As séries de dados climáticos e de produção utilizadas correspondiam aos anos de 1964 a 1983. Como resultado, observaram para o modelo simples um  $R^2$  de 0,88, e erro de previsão variando entre 0,3% a 30,9%; para o modelo bienal, para anos pares,  $R^2$  de 0,97 e erro de previsão variando entre 0,4% e 9,5%; para os anos ímpares,  $R^2$  de 0,99

e erro de previsão variando entre 0,3% a 7,9%; e para o modelo composto, um erro de previsão que variou de 1,5% a 68,2%.

Mais recentemente, outros modelos foram desenvolvidos e testados por PICINI et al. (1999). São modelos agrometeorológicos empíricos estatísticos que relacionam a fenologia, a bienalidade e a produtividade do cafeeiro, a partir de uma série de dados de produtividade de cafeeiros adultos, cultivar Mundo Novo, correspondente ao período de 1966/67 a 1973/74. Esses modelos baseiam-se na penalização da produtividade potencial, em função do ano anterior e das relações ER/EP (evapotranspiração real / evapotranspiração potencial). A penalização é feita à medida que haja restrição hídrica para a planta durante os diferentes estádios fenológicos, considerando coeficientes de resposta da cultura ao suprimento hídrico, incorporados numa função aditiva ou multiplicativa. Como resultado, o modelo com penalização aditiva apresentou melhor desempenho na parametrização, além dos melhores ajustes entre os dados observados e os dados estimados, relacionando o fator hídrico durante os trimestres jun/jul/ago; set/out/nov; e dez/jan/fev, apresentando  $R^2$  acima de 0,90. Este modelo foi testado para três localidades da região sul do Estado de Minas Gerais, por Carvalho et al. (2003), não apresentando resultados satisfatórios na previsão de produtividades para a cultura de café, com erros relativos percentuais das estimativas com grande discrepância e tendência de superestimar as produtividades.

Camargo et al. (2003), mostram, em resultados preliminares, que o modelo multiplicativo de penalização baseado em informações agrometeorológicas e fenológicas tem potencial para monitorar e estimar a quebra de produtividade esperada para diferentes regiões cafeeiras, podendo servir como importante subsídio aos trabalhos de previsão de safra.

Santos et al. (2005), modificaram o modelo de Camargo et al. (2003), originalmente baseado na penalização da produtividade potencial da cultura em função do déficit hídrico, ajustadas por diferentes coeficientes de sensibilidade da cultura ( $ky$ ) ocorridos em diferentes fases fenológicas, sendo considerados também os efeitos de temperaturas adversas, como geadas e de temperaturas elevadas durante o florescimento. Esta modificação visou considerar também os efeitos da bienalidade produtiva por meio de coeficientes de sensibilidade ( $ky_0$ ), parametrizando-os com base em critérios e observações experimentais de acordo com a fenologia do cafeeiro, em diversos níveis hierárquicos (planta, talhão, propriedade, município). Em testes preliminares, esse modelo modificado e a parametrização nos diversos níveis mostrou ter potencial para estimar produtividades do cafeeiro. Este modelo, juntamente com o modelo de

Camargo et al. (2003), foi testado por Camargo et al. (2005), mostrando ser de grande potencial na estimativa da produtividade para o café, podendo servir como importante subsídio aos trabalhos de previsão de safra da cultura do cafeeiro.

Por outro lado, outros pesquisadores relacionaram componentes fisiológicos da produção com a produtividade do cafeeiro. Beaumont (1939) analisou o crescimento dos ramos plagiotrópicos com a produtividade chegando às conclusões de que, a produtividade estava fortemente relacionada com o crescimento do ramo anterior à florada, e que o crescimento do ramo estava fortemente relacionado com o volume da produtividade da planta ocorrido concomitantemente ao crescimento do ramo, caracterizando essa observação como o principal processo determinante da bienalidade do cafeeiro.

Schattan (1964) desenvolveu um método objetivo de substituir as previsões subjetivas no Estado de São Paulo. Este método era baseado em peso de sementes, número de frutos e população de plantas. No entanto o autor já esperava que este tipo de previsão apresentasse dificuldades aos agricultores, por exigir um grande número de amostragem no levantamento de dados na propriedade, além de possuir rigorosos delineamentos estatísticos, exigentes em mão de obra treinada, demandarem muito trabalho e tempo e serem considerados pouco práticos em relação as usuais estimativas visuais ou subjetivas.

Mais tarde Cannell (1973), sugeriu a possibilidade de se obter estimativa antecipada da produção com base em modelos matemáticos, utilizando componentes fisiológicos da produção, como número de ramos produtivos, número de nós com frutos, número de frutos por nó e peso de fruto.

Posteriormente Browing e Dorward (1989), utilizando um modelo matemático, mostraram estreita relação entre o número de nós produtivos, número de frutos por nó e peso médio de frutos com a produção.

Trabalho realizado na Colômbia (PULGARIN e CORDOBA, 1992) mostra que dois meses antes de cada período de colheita, no caso fevereiro e julho, é possível encontrar reunidos todos os frutos (imaturos) que irão constituir a próxima colheita. Ao quantificar os frutos nestas épocas, evita-se em grande parte os problemas com a dispersão da maturação dos frutos e também é possível estimar a produtividade da colheita. Para isso foi desenvolvido um sistema de amostragem em nível de planta e de talhão, baseados na fisiologia da planta. Os resultados da aplicação desta metodologia em mais de cem talhões de café espalhados em dez regiões,

mostraram que existe uma relação linear entre a produção observada e um indicador de previsão, estabelecido através das amostras de frutos por planta e o número de plantas presentes, dois meses antes da colheita.

Garcia et al. (2003) relacionaram a produtividade de café de um talhão com o número de internódios formados no ano anterior, chegando à conclusão de que este fator influencia diretamente na produtividade futura do cafeeiro e vice-versa. Projetaram em ano de safra alta, 3,5 sacas de café beneficiado.ha<sup>-1</sup> para cada internódio formado, e 4,2 sacas de café beneficiado.ha<sup>-1</sup> para cada internódio formado em ano de baixa produtividade. Os mesmos autores também concluem que tanto as condições climáticas como os tratos culturais influenciam no crescimento vegetativo do cafeeiro.

Fahl et al. (2003), avaliaram 14 talhões (unidades experimentais) na região de Garça/Marília-SP, no período de 1999 a 2001, e constataram que as correlações entre dados de alguns índices fisiológicos (número de frutos do 4º nó, do 5º nó, e da soma do 4º e 5º nós, número de frutos no ramo e número de nós produtivos no ramo) isoladamente, com a produção, foram baixas. Quando esses índices foram associados a outros índices, como altura a área produtiva por hectare (produto do número de ruas de café em por hectare com a altura da planta multiplicado por dois), os valores das correlações aumentaram significativamente, alcançando valores da ordem de 0,80.

A utilização de modelos de previsão requer um amplo conhecimento dos diversos fatores que afetam a taxa de crescimento das culturas, bem como das diversas possibilidades de representar matematicamente tal influência, ou seja, de simular tal influência.

Desta forma esta pesquisa foi realizada com o objetivo de obter uma metodologia prática, que facilite a obtenção de dados para a estimativa da produtividade do cafeeiro, fundamentada cientificamente com base em dois níveis de sistemas - talhão e propriedade rural, por meio de índices fenológicos de produtividade (IFP1 e IFP2). Disponibilizando assim, mais uma ferramenta e ser utilizada pelos seguimentos responsáveis pela previsão de safra da cafeicultura brasileira (CONAB, cooperativas e demais instituições).

## 2.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado em duas regiões cafeeiras do Estado de São Paulo, as de Garça/Marília e de Campinas, conforme ilustrado na figura 3. As Unidades Experimentais (UEs) adotadas para a realização das avaliações pertenciam a propriedades comerciais localizadas nessas regiões produtoras.

### 2.2.1 Local do experimento

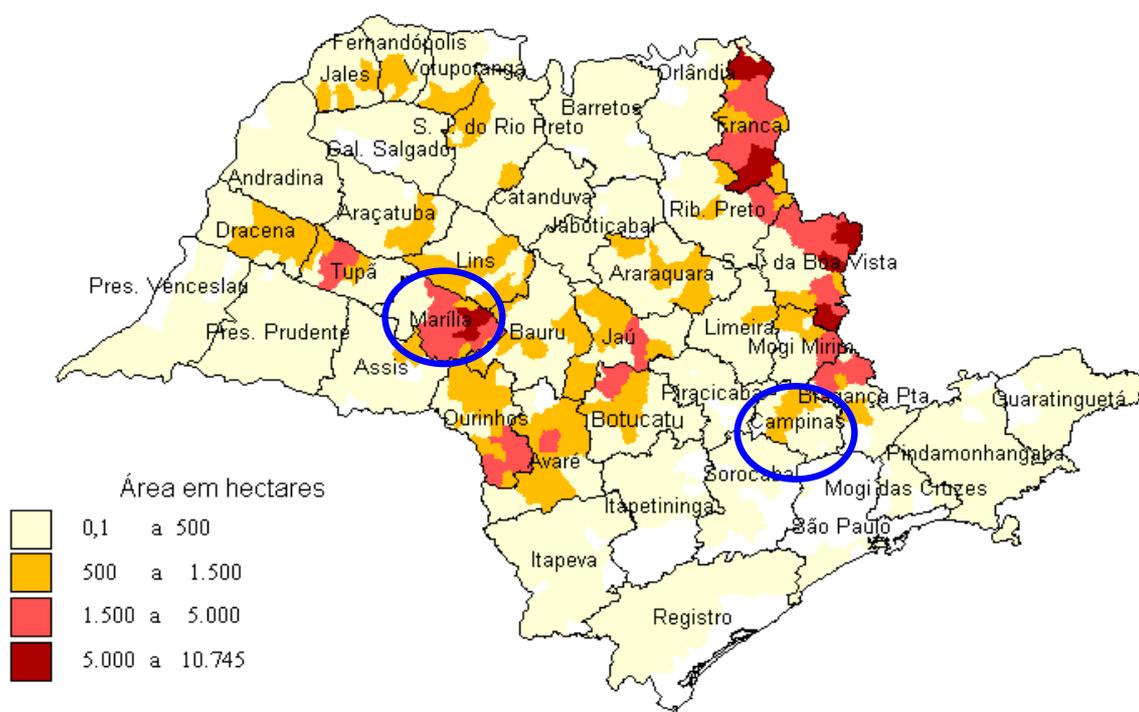


Figura 3 - Mapa representativo das regiões cafeeiras do Estado de São Paulo. Fonte: CATI, 2007

Foram adotados 14 UEs na região de Garça/Marília, sendo que a localização e a adoção das mesmas, foram determinadas por pesquisadores e técnicos da região, levando-se em consideração a cultivar, espaçamento, idade da planta e os municípios representativos de cada região produtora, conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1 - Unidades experimentais avaliadas na região de Garça/Marília - SP

UE*	Município	Georrefenciamento			Idade** Ano	Cultivar	Espaçamento ( n° de planta)	Área ha	Plantas.ha <sup>-1</sup>	metro de rua m
		Altitude m	Latitude sul	Longitude oeste						
1	Garça	721	22° 17,753'	49° 46,058'	> 8	Mundo Novo	4,0 X 1,5 (2)	4,0	3333	2500
2	Garça	653	22° 08,865'	49° 37,673'	< 8	Mundo Novo	4,0 X 1,5 (2)	15,0	3333	2500
3	Garça	676	22° 10,455'	49° 34,531'	> 8	Catuaí	4,0 X 0,75 (1)	2,0	3333	2500
4	Garça	657	22° 11,157'	49° 33,609'	< 8	Mundo Novo	4,0 X 1,0 (1)	2,5	2500	2500
5	Vera Cruz	653	22° 13,580'	49° 46,735'	> 8	Mundo Novo	4,0 X 2,0 (2)	6,0	2500	2500
6	Vera Cruz	666	22° 14,041'	49° 49,327'	< 8	Icatu	3,6 X 1,0 (1)	3,0	2778	2778
7	Gália	671	22° 16,708'	49° 35,822'	> 8	Catuaí	3,7 X 1,0 (1)	0,6	2703	2703
8	Gália	727	22° 17,935'	49° 36,252'	> 8	Mundo Novo	4,0 X 1,0 (1)	1,9	2500	2500
9	Lupércio	685	22° 23,988'	49° 50,545'	< 8	Catuaí	4,0 X 0,6 (1)	3,0	4167	2500
10	Álvaro de Carvalho	671	22° 05,324'	49° 42,072'	< 8	Icatu	4,0 X 1,5 (2)	4,0	3333	2500
11	Oriente	639	22° 08,773'	50° 06,79'	< 8	Icatu	4,0 X 0,6 (1)	3,0	4167	2500
12	Oriente	639	22° 08,773'	50° 06,79'	< 8	Icatu	4,0 X 0,6 (1)	3,0	4167	2500
13	Marília	672	22° 17, 212'	49° 54,646'	> 8	Mundo Novo	4,0 X 2,0 (2)	2,0	2500	2500
14	Marília	651	22° 16,533'	49° 54,375'	< 8	Mundo Novo	3,5 X 0,8 (1)	4,0	3571	2857

\* Unidade experimental

\*\* Idade da lavoura tomando como referência o início das avaliações

Na outra região as avaliações ocorreram na fazenda Monte D'este, no município de Campinas, que possui uma área cultivada de, aproximadamente, 250 hectares de café, cujas coordenadas geográficas são: 22° 46' de latitude Sul, 47° 01' de longitude Oeste e 674 m de altitude. O clima é do tipo Cwa, subtropical de altitude, segundo a classificação de Köppen. Essa propriedade mantém um sistema de registro de todas as atividades realizadas por talhão, e informações diárias de dados climáticos, como: temperatura máxima, mínima e precipitação pluvial, durante os anos agrícolas de 2003/2004, 2004/2005 e 2005/2006.

Foi utilizado para as avaliações 16 talhões de café ou Unidades Experimentais (UEs), considerando as idades, cultivares e espaçamentos, conforme tabela 2.

Tabela 2 - Unidades experimentais avaliadas na região de Campinas, na Fazenda Monte D'este no município de Campinas - SP; Latitude 22 46, 555' S; Longitude 47 01,855'W

UE*	Nome	Cultivar	Espaçamento m	Ano de Plantio	Área ha	Plantas.ha <sup>-1</sup>	metro de rua m
1	Mato Alto	Catuaí Vermelho 144	3,8 X 0,5	1998	3,8	5263	2632
2	Atibaia Velha II	Catuaí Amarelo 74	3,5 x 0,7	1995	2,9	4082	2857
3	Uva I	Catuaí Vermelho 144	3,5 X 0,5	1993	7,0	5714	2857
4	Matriz II	Catuaí Amarelo 74	3,5 x 0,7	1995	8,0	4082	2857
5	Santana	Catuaí Vermelho 144	3,8 X 0,5	1999	10,5	5263	2632
6	Juquita	Catuaí Vermelho 144	3,8 X 0,5	2001	8,6	5714	2632
7	Obatã	Obatã	3,8 X 0,5	2001	6,5	5714	2632
8	Atibaia Pedra	Catuaí Vermelho 144	3,8 X 0,5	1999	5,0	5263	2632
9	Atibaia Nova II	Catuaí Amarelo 74	3,5 x 0,75	1996	9,1	3810	2857
10	Bourbon C-1	Bourbon	3,8 X 0,6	2001	2,0	4386	2632
11	Tupi	Tupi	3,8 X 0,6	2001	4,5	4386	2632
12	Amarelo Baixo II	Icatu 4045	3,8 X 0,5	2000	9,9	5263	2632
13	Amarelo Baixo II	Obatã	3,8 X 0,5	2000	9,9	5263	2632
14	Terra Roxa I	Catuaí Vermelho 144	3,5 X 0,8	1997	6,0	3571	2857
15	Amarelo Baixo I	Catuaí Vermelho 144	3,8 X 0,5	1998	6,1	5263	2632
16	Amarelo Alto II	Catuaí Vermelho 144	3,5 X 0,8	1996	2,0	3571	2857

\* Unidade experimental

### 2.2.2 Dados meteorológicos

Para uma caracterização geral das condições climáticas no período de avaliação em ambas as regiões, foi realizado o balanço hídrico para as duas localidades. Os dados diários de temperatura máxima e mínima (°C), e precipitação (mm) para o município de Marília foram adquiridos junto ao Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Para Campinas foram utilizados os dados de temperatura máxima e mínima e precipitação fornecidos pela Fazenda Monte D'este. Para cálculos posteriores a temperatura média diária foi determinada como a média entre a máxima e a mínima.

Com estes dados foram calculados os balanços hídricos para cada município e anos estudados, utilizando o software BH CAFÉ, proposto pelo Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) do IAC, com o objetivo principal de caracterizar a disponibilidade hídrica para diferentes regiões agrícolas. Esse programa faz o cálculo do Balanço hídrico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955).

O balanço hídrico fornece valores de evapotranspiração potencial (ETP), a estimativa da evapotranspiração real (ETr), o armazenamento de água no solo (ARM), a deficiência hídrica (DEF) e o excedente hídrico (EXC). Desta maneira é gerado o déficit de evapotranspiração relativa  $[1 - ETr/ETp]$ , que permite quantificar o estresse hídrico.

Segundo Alfonsi et al. (1990), a grande maioria dos solos onde se localizam as regiões cafeeiras do Estado de São Paulo, apresentam como capacidade máxima de água disponível (CAD) o valor de 100 mm, sendo este o valor adotado no trabalho.

Para melhor visualização do balanço hídrico, ou seja, a intensidade e a duração dos períodos secos e úmidos ocorridos nos anos agrícolas correspondentes ao trabalho, foi adotado uma representação gráfica, denominada extrato do balanço hídrico, de acordo com Camargo e Camargo (1993), que utiliza apenas os valores de excedente e da deficiências hídricas (valores positivos e negativos respectivamente).

### 2.2.3 Avaliação do experimento

As avaliações foram realizadas nos anos agrícolas de 1999/2000 até 2005/2006 em Garça/Marília e de 2003/2004 até 2005/2006 em Campinas, onde foram avaliados diferentes épocas e parâmetros fenológicos.

As avaliações em Garça/Marília foram realizadas nos meses de dezembro e fevereiro/março e em Campinas nos meses de setembro/outubro; dezembro; janeiro e fevereiro/março, períodos que correspondem aos estádios fenológicos como a florada (setembro/outubro); “chumbinho” (dezembro); pós queda de “chumbinho” (janeiro) e “granação” (fevereiro/março), de acordo com o modelo de Camargo e Camargo, (2001) e floração; expansão dos frutos e grãos verdes, conforme escala proposta por Pezzopane et al. (2003). Normalmente nos meses de setembro/outubro ocorre a primeira florada de importância econômica, dependendo da intensidade das chuvas ocorridas nesta época. No mês de dezembro, já ocorreram todas as floradas do ano no cafeeiro, definindo o seu potencial produtivo. Em janeiro, ocorre o fenômeno de queda de “chumbinho”, em decorrência de fatores climáticos e internos da planta, já mencionados anteriormente. Este fenômeno de queda define o número total de frutos que chegarão até a colheita. Conseqüentemente a avaliação realizada no período de fevereiro/março, contempla este número.

Em cada UE foram adotados 4 pontos de amostragem, definidos mediante uma seleção aleatória de quatro ruas de café, marcadas e utilizadas para as avaliações das características fisiológicas de crescimento e produção, nas diversas épocas selecionadas. As produções observadas nas UEs foram obtidas por técnicos responsáveis das regiões adotadas.

Cada ponto mostrado na figura 4 corresponde a 10 plantas avaliadas em duas ruas de café, sendo 5 em uma rua e 5 na outra. As avaliações foram feitas a cada 10 metros aproximadamente e em “zigue e zague” em ramos voltados para o meio da rua avaliada, conforme apresentada na figura 4. Esta metodologia anula o efeito de influência da radiação solar na produtividade do cafeeiro, devido ao sentido de plantio da lavoura. Desta forma, em cada época de avaliação, foram avaliadas em cada UE um total de 40 plantas.

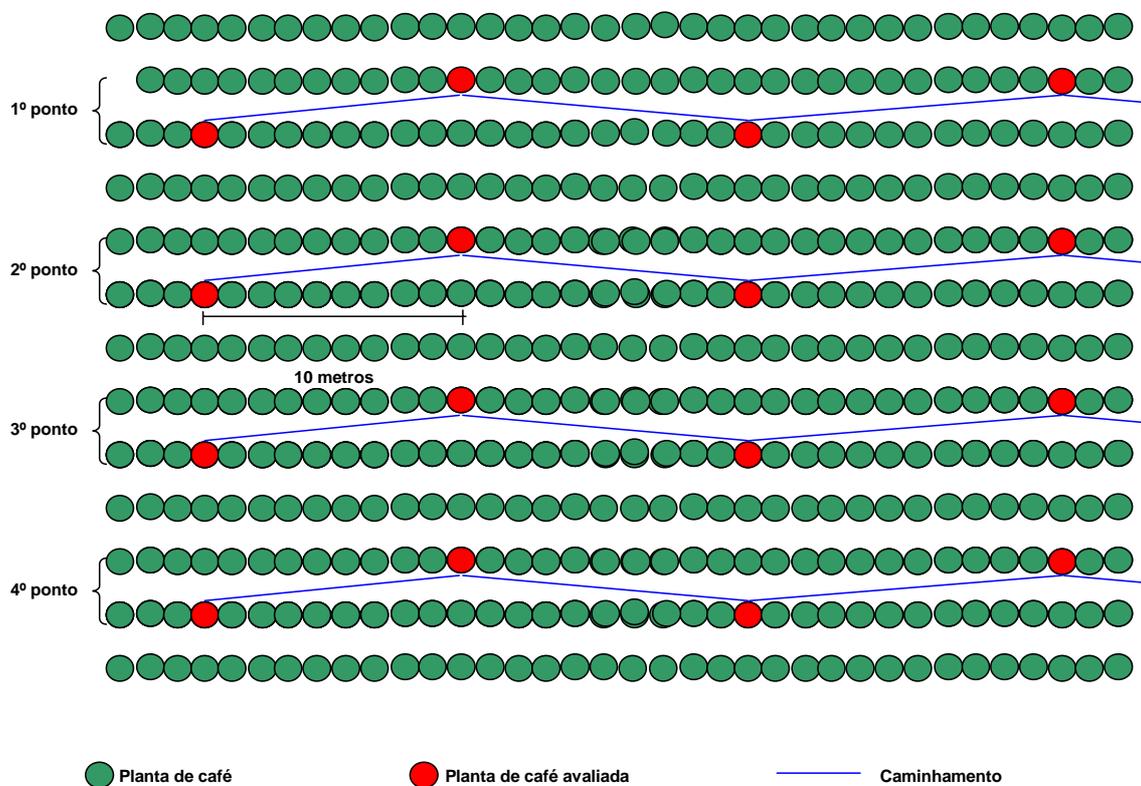


Figura 4 - Representação gráfica do sistema de avaliação de uma unidade experimental (UE)

As avaliações dos frutos foram realizadas em ramos plagiotrópicos do terço médio da planta, que contém um número médio de frutos representativo da planta. A figura 5 ilustra as posições dos ramos de acordo com os anos das plantas.

Em cada época de avaliação e em cada planta observou-se num ramo plagiotrópico marcado, localizado no terço médio da planta, as seguintes características fisiológicas de crescimento e produção:

### 1 - Número de flores no quarto e no quinto internódios produtivos.

Estes internódios foram adotados, pois, é sabido que, normalmente a produtividade do cafeeiro se dá na parte do ramo plagiotrópico que cresceu no ano anterior (ano fenológico 1) conforme figura 5. Normalmente neste período, o número de internódios de crescimento é maior

que cinco, aproximadamente nove, dependendo do ano agrícola (bienalidade), conseqüentemente o quarto e quinto internódios produtivos estão entre os internódios que cresceram no ano anterior. Além disso, a média de “chumbinho”, ou frutos, naqueles dois internódios representam praticamente o mesmo número de “chumbinho”, ou frutos, pertencentes em cada internódio produtivo restante que cresceu no mesmo ano. É considerado como o quarto internódio produtivo, o quarto internódio a partir do primeiro internódio com “chumbinho”, ou fruto, contado a partir do ápice do ramo plagiotrópico, sendo o quinto o internódio produtivo, o internódio seguinte, tenha eles “chumbinho”, ou fruto, ou não (Figura 6).

## **2 - Número de internódio produtivo do ramo.**

São os internódios que apresentam “chumbinho”, ou frutos no ramo plagiotrópico, sejam eles do ano ou do ano anterior que por algum motivo não floresceram.

## **3 - Altura das plantas.**

Consiste na distância entre o nível do solo até o ápice ramo ortotrópico da planta. Utilizou-se uma régua de quatro metros de comprimento para a realização das medidas. Ao todo foram feitas cinco medidas de altura de planta em cada UE.

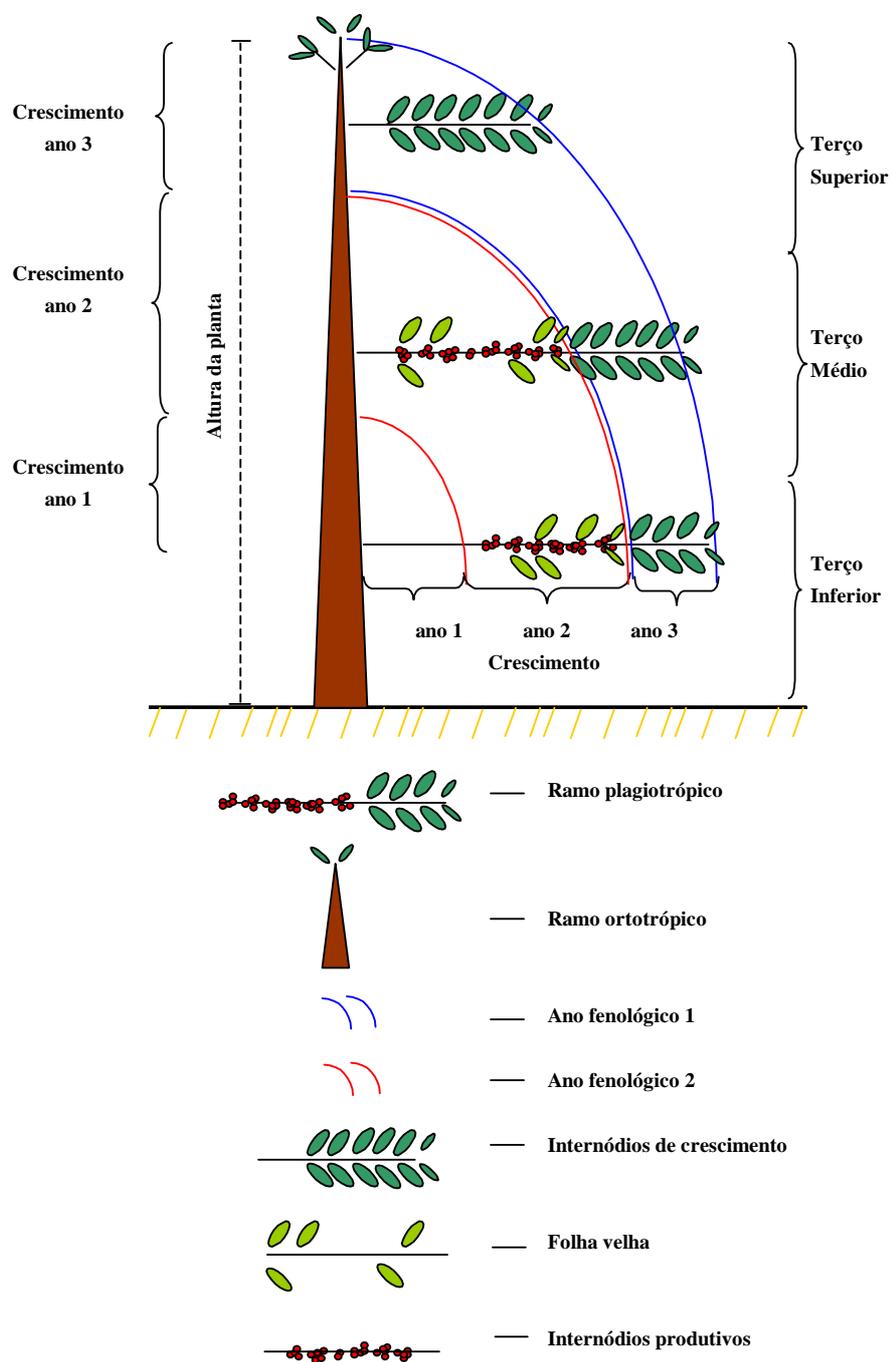


Figura 5 - Representação gráfica das características fenológicas de crescimento e produção do cafeeiro



Figura 6 - Localização do 4<sup>o</sup> e 5<sup>o</sup> internódios produtivos, localizado em ramos plagiotrópico pequeno (A) e grande (B)

#### 2.2.4 Modelo matemático fenológico de estimativa de produtividade

Com os dados das características fisiológicas obtidos nas avaliações, juntamente com outras características fitotécnicas das respectivas UEs avaliadas, foram realizadas correlações entre os parâmetros avaliados e a produtividade observada das respectivas UEs. As melhores correlações foram utilizadas no desenvolvimento de modelos matemáticos baseado em um índice fenológico de produtividade (IFP) para estimar a produtividade do cafeeiro nas diferentes épocas do ano em que foram realizadas as avaliações.

##### 2.2.4.1 Hierarquia de sistema (I + 1) - Talhão

Para chegar ao índice fenológico de produtividade (IFP), foi necessário idealizar um modelo representativo de uma área vegetal produtiva (AVP) pertencente a um sistema de plantio em renque em uma lavoura de café, conforme esquematizado na figura 7.

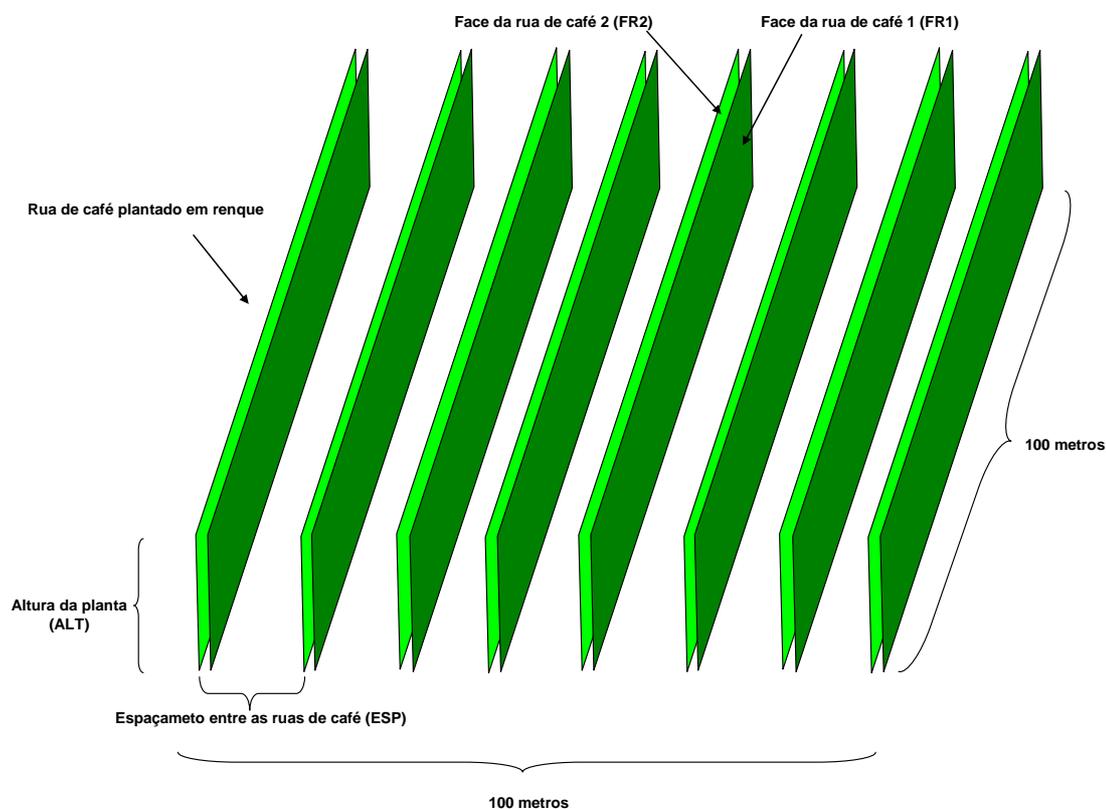


Figura 7 - Representação da área vegetal produtiva (AVP) de um hectare de café plantado em renque (plântio adensado na linha)

A 'AVP' pode então ser representada pela equação (1).

$$AVP = \left( \left[ \frac{100}{ESP} \times 100 \right] \times \left[ ALT \times 2 \right] \right) \quad (1)$$

em que:

- 'AVP' é a área produtiva, em m<sup>2</sup>, de um hectare de café, plantado em renque;
- '(100/ESP) \* 100' é o comprimento em metro de linha plantado em um hectare;
- 'ALT \* 2' é o dobro da altura média das plantas, em metro, de cada UE, (FR1 e FR2)

### 2.2.4.1.1 Índice fenológico de produtividade 1 (IFP1)

Desta forma, com os valores da ‘AVP’ e das características fisiológicas de produção e crescimento, determinou-se dois índices fenológicos de produtividade. Na determinação do ‘IFP1’ (Equação 2), foram utilizados os seguintes parâmetros: ‘AVP’ e a média do número de grãos contados no quarto e quinto nós produtivos dos ramos plagiotrópicos avaliados, da seguinte forma:

$$\text{IFP1} = \text{AVP} \times \text{MF45} \quad (2)$$

em que:

- ‘IFP1’ corresponde ao índice fenológico de produtividade 1 (nº de frutos \* m<sup>2</sup> (linear));
- ‘AVP’ é a área vegetal de produção, em m<sup>2</sup>, por hectare;
- ‘MF45’ é média de frutos presentes no 4º e 5º nós produtivos do ramo plagiotrópico, contados a partir do ápice.

O índice fenológico de produtividade corresponde ao produto do número médio de frutos do 4º e 5º nós produtivos do ramo plagiotrópico, multiplicado pela área vegetal de produção, a qual foi calculada pela multiplicação do comprimento em metros de linha de café por hectare pelo dobro da altura médias das plantas.

### 2.2.4.1.2 Índice fenológico de produtividade 2 (IFP2)

O ‘IFP2’, foi calculado a partir do ‘IFP1’ e do número de internódios produtivos no ramo plagiotrópico, de acordo com a equação (3):

$$\text{IFP2} = \text{IFP1} \times \text{NIP} \quad (3)$$

em que:

- ‘IFP2’ corresponde ao índice fenológico de produtividade 2 (nº de frutos \* m<sup>2</sup> (linear) \* nº internódios produtivos);
- ‘IFP1’ é o índice fenológico de produtividade 1;
- ‘NIP’ é o número de internódios produtivos no ramo plagiotrópico

#### **2.2.4.2 Hierarquia de sistema (I + 2) - Propriedade rural**

De acordo com o objetivo foi também adotado a hierarquia de sistema de propriedade para realizar a estimativa de produtividade do cafeeiro. Uma propriedade rural neste trabalho foi definida como sendo o conjunto de UEs avaliadas em cada localidade, para cada ano agrícola estudado, totalizando duas propriedades rurais, uma em Garça/Marília outra em Campinas.

Para realizar as estimativas de produtividade neste nível hierárquico de sistema, foi adotado o critério da seguinte forma: a primeira equação é determinada com os dados do primeiro ano de avaliação e testado no segundo ano. Para o ano seguinte os dados do segundo ano foram adicionados aos dados do primeiro ano, determinando uma segunda equação a qual foi testada para o terceiro ano, e assim sucessivamente para cada localidade estudada. Dessa forma, com a adição de dados de novos anos as estimativas se tornam cada vez mais acuradas e precisas pra cada região.

Os dados de estimativa de produtividade obtidos através das equações utilizando o 'IFP1', foram multiplicados pela área respectiva de cada talhão, determinando a produção por talhão. Essas produções foram somadas determinando a produtividade em sacas de 60 quilos total da propriedade.

#### **2.2.4.3 Estimativa de produtividade visual (EPVIS)**

Foi realizada também a estimativa visual de produtividade por no mínimo dois técnicos especialistas da cultura, em cada ano agrícola, em todas as UEs. Esta técnica é, atualmente, a mais utilizada na prática, para estimativas de produtividade do cafeeiro.

#### **2.2.4.4 Produtividade observada (PO)**

A produtividade observada ou real, de cada UE, expressa em sacas de café beneficiado por hectare, foi obtida dividindo-se o volume de café da roça, ou seja, o volume de café colhido no campo, pelo fator 450 (valor estabelecido para conversão de café da roça em café

beneficiado), volume fornecido pelo proprietário ou responsável pelo escritório das propriedades onde se encontravam as UEs da região de Garça/Marília.

Para Campinas, os dados foram obtidos junto ao escritório da fazenda Monte D'este, onde os valores fornecidos em sacas.ha<sup>-1</sup> foram determinados pela divisão do volume de café da roça pelo volume total beneficiado (total da fazenda) para cada ano agrícola, convertidos posteriormente em produtividade para as diferentes UEs.

#### **2.2.4.5 Avaliação do modelo**

Para a determinação de quais elementos deveriam ser utilizados nos modelos, foram ajustados modelos de regressão múltipla, não lineares com 300 iterações, buscando-se a minimização do desvio, utilizando-se funções exponenciais, lognormais e gaussianas, por meio de superfícies de resposta para cada parâmetro adotado na obtenção do índice fenológico de produtividade, em relação à produtividade observada com os dados obtidos na região de Campinas nos anos agrícolas de 2003 a 2005.

Foram ajustados modelos de regressão linear aos pares de dados relativos a produtividade observada, em sacas de café beneficiado por hectare, em função dos índices fenológicos de produtividade 1 e 2. O teste F a 5% de probabilidade foi utilizado para testar a significância da regressão. Outro teste utilizado foi o de Tukey a 5% de probabilidade, para verificar as diferenças entre os modelos nas diferentes épocas avaliadas. Os dados utilizados para estas análises foram os obtidos nos agrícolas de 1999/2000 até 2004/2005 e 2003/2004 até 2004/2005 para as regiões de Garça/Marília e Campinas respectivamente, através de regressões lineares entre os índices fenológicos de produtividade 1 e 2 encontrados em cada Ue com suas respectivas produtividades observadas.

Em princípio, o número mínimo de ramos a serem amostrados não era conhecido nas regiões do experimento. Dessa forma, determinação do número de ramos amostrados foi baseado nos valores de R<sup>2</sup> obtidos através de regressões lineares aos pares de dados relativos a produtividade observada, em função dos índices fenológicos de produtividade. Os valores dos índices fenológicos de produtividade foram obtidos a partir da média dos frutos (IFP1) e nós

produtivos (IFP2) presentes nos ramos amostrados (n), caminhando em um crescente dos ramos avaliados, começando com  $n = 1$  e terminando em  $n = 40$ .

Os modelos fenológicos de produtividade 1 e 2 foram avaliados utilizando-se dados independentes de produtividade para as diversas unidades experimentais, adquiridas no ano agrícola 2005/2006 para cada região estudada. Os resultados foram avaliados mediante regressão, com base no coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o índice “d” (índice de concordância) proposto por Willmott et al. (1985). O valor de “ $R^2$ ” (Equação 4) apresenta a precisão dos dados, ou seja, o quanto a variável dependente é explicada pela variável independente. O índice “d” de Willmott (Equação 5), com variação entre 0 (menor exatidão) e 1 (maior exatidão), indica o grau de concordância ou exatidão entre os valores estimados e observados. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o coeficiente de Willmott (d) são determinados da seguinte forma:

a) coeficiente de determinação ( $R^2$ )

$$R^2 = \frac{\left( \sum_{i=1}^N O_i \cdot P_i \right)^2}{\sum_{i=1}^N O_i^2 \cdot \sum_{i=1}^N P_i} \quad (4)$$

b) coeficiente de Willmott (d)

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N \left( |P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}| \right)^2} \quad (5)$$

Também utilizou-se para a quantificação dos erros proporcionados pelas estimativas, o erro médio absoluto (EMA) equação 6, o erro sistemático (Es) equação 7 e o erro aleatório (Ea) equação 8 que são apresentados a seguir:

c) Erro médio absoluto

$$EMA = \frac{1}{N} \sum_i^n (O_i - P_i) \quad (6)$$

d) Erro sistemático

$$Es = \frac{1}{N} \sum_i^n (P^* - O_i)^2 \quad (7)$$

e) Erro aleatório

$$Ea = \frac{1}{N} \sum_i^n (P_i - P^*)^2 \quad (8)$$

em que  $P_i$  o  $i$ ésimo valor estimado,  $O_i$  o  $i$ ésimo valor observado,  $\bar{O}$  a média dos valores observados e  $N$  é o número de dados.

Associando-se os coeficientes de correlação “r” com o de concordância “d” Camargo e Sentelhas (1997) citado por Santos (2005) desenvolveram o índice “C”, sendo  $C = r * d$ . Este índice determina o desempenho do modelo (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores dos coeficientes de desempenho conforme Camargo e Sentelhas (1997) citado por Santos (2005)

<b>Valor de “C”</b>	<b>Desempenho</b>
> 85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
= 0,40	Péssimo

## **2.3 Resultados e Discussão**

### **2.3.1 Condições agrometeorológicas para as regiões de Garça/Marília de 1999/2000 a 2005/2006 e Campinas de 2003/2004 a 2005/2006.**

As figuras 8 e 9 apresentam os extratos dos balanços hídricos, para os anos agrícolas de 1999/2000 a 2005/2006 para a região de Garça/Marília e de 2003/2004 a 2005/2006 para a região de Campinas, iniciando nos meses de junho de um ano e terminando em julho do ano subsequente.

Observa-se que em grande parte dos anos agrícolas o clima não foi propício para a produção agrícola na cafeicultura. Somado as condições climáticas, os produtores de café passaram neste período uma grave crise, que durou quatro anos (2001 a 2004), em que o preço da saca de café valia em média U\$ 60,00, o que proporcionou um menor investimento em tecnologia nas lavouras.

O déficit hídrico tem grande influência na produção agrícola, principalmente quando ele ocorre nos estádios fenológicos críticos da cultura, como o florescimento e granação dos frutos. Na região de Garça/Marília, observam-se períodos secos na época das floradas subsequentes às chuvas que juntamente com temperaturas elevadas podem ocasionar a queda prematura de chumbinhos, abortamento de botões florais e o aparecimento de flores defeituosas, conhecidas com “estrelinhas”, como verificado em 2003/2004 (Figura 8E) e 2004/2005 (Figura 8F). Verificou-se também nos anos agrícolas de 2005/2006 (Figura 8G) na região de Garça/Marília e nos anos de 2004/2005 (Figura 9B) e 2005/2006 (Figura 9C) na região de Campinas a ocorrência de períodos de deficiência hídrica na expansão ou granação dos frutos, influenciando negativamente a produção pela redução no tamanho e peso dos frutos.

### Extrato do Balanço Hídrico Decennial

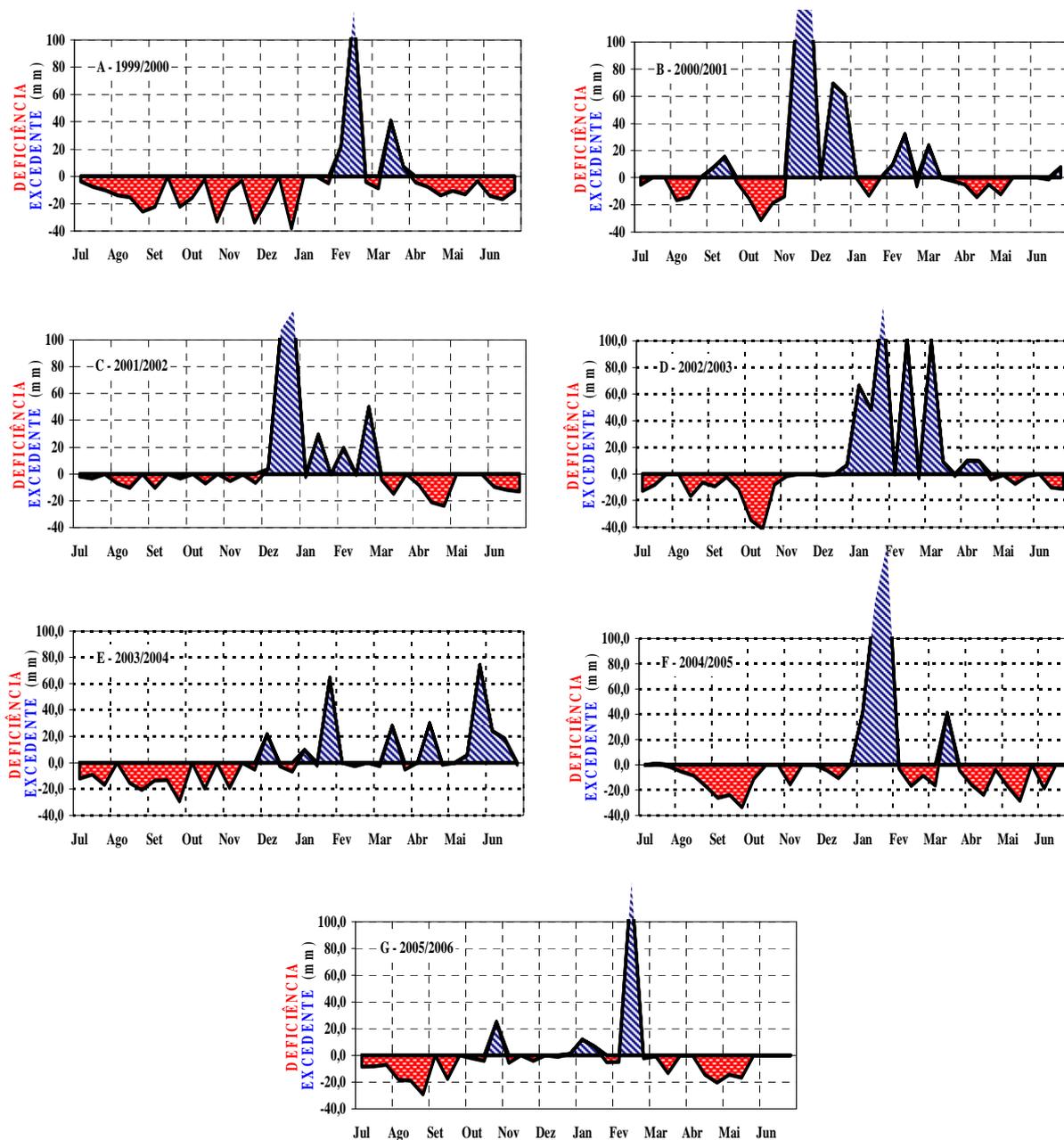


Figura 8 - Extrato do balanço hídrico da região de Marília - SP dos anos agrícolas 1999/2000 até 2005/2006

### Extrato do Balanço Hídrico Decendial

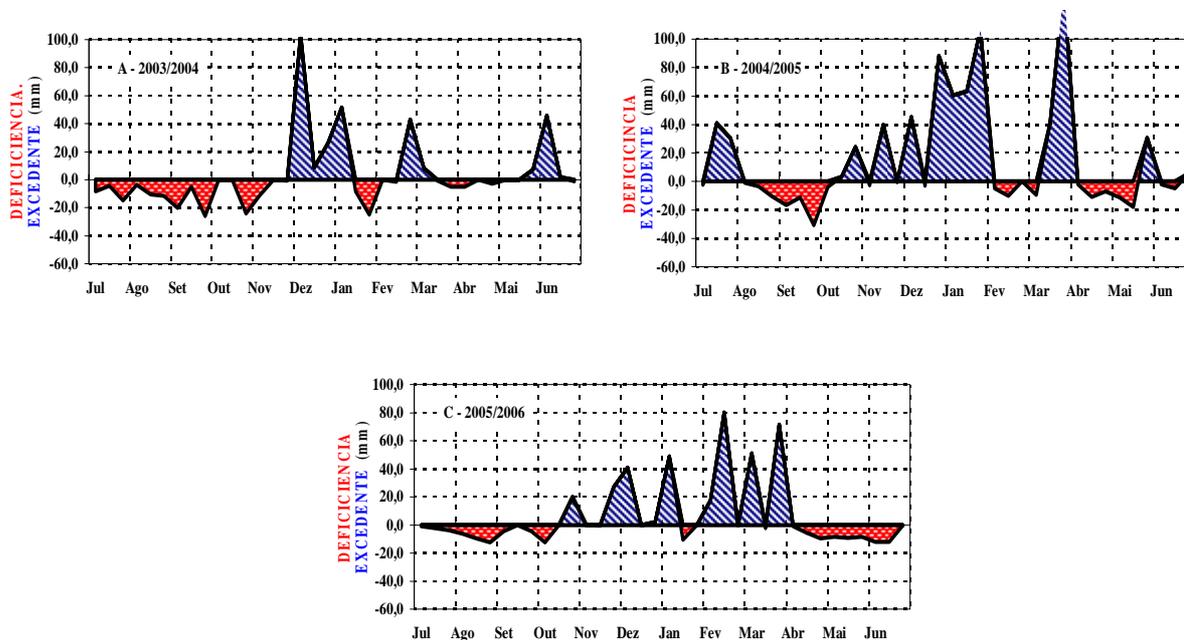


Figura 9 - Extrato do balanço hídrico da região de Campinas - SP dos anos agrícolas 2003/2004 até 2005/2006

### 2.3.2 Produtividade observada nas unidades experimentais

Com base na metodologia descrita foram realizadas as avaliações para a obtenção do sistema de estimativa da produtividade do cafeeiro. Os resultados se baseiam na quantificação das estruturas produtivas (flores, chumbinho ou frutos) nas diversas fases fenológicas do cafeeiro.

Nas tabelas 3 e 4 são apresentadas as produtividades observadas, nos diversos anos agrícolas avaliados, nas duas regiões estudadas.

Tabela 4 - Produtividade observada (PO) obtidas nas Unidades experimentais (UEs) da região de Garça/Marília - SP, no período de 1999 a 2006

UE*	Produtividade Observada (sacas.ha <sup>-1</sup> )						
	Ano agrícola						
	1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006
1	*	*	*	*	60,0	12,0	70,0
2	52,0	*	51,0	17,0	29,0	18,0	41,0
3	35,0	*	*	7,0	35,0	*	60,0
4	33,0	22,4	40,5	18,0	32,0	*	48,5
5	40,0	21,4	47,0	25,0	*	*	*
6	26,0	23,7	56,6	*	30,0	8,0	46,9
7	49,0	*	37,0	*	22,7	*	48,0
8	*	*	51,0	7,0	45,2	29,2	34,3
9	25,0	14,7	45,3	20,0	*	*	*
10	6,0	25,0	*	*	30,0	15,0	35,4
11	33,0	*	*	*	27,0	36,0	54,0
12	19,0	*	*	*	27,0	36,0	54,0
13	22,0	*	44,0	*	*	*	5,0
14	*	30,1	*	16,0	29,5	41,0	59,7

\* Dados não fornecidos ou as UEs sofreram algum tipo de manejo (recepta ou esqueletamento)

Tabela 5 - Produtividade observada (PO) obtidas nas Unidades experimentais (UEs) da região de Campinas - SP (Fazenda Monte D'este), no período de 2003 a 2006

UE*	Produtividade Observada (sacas.ha <sup>-1</sup> )		
	Ano agrícola		
	2003/2004	2004/2005	2005/2006
1	7,3	51,9	28,0
2	33,5	*	50,0
3	47,9	*	*
4	32,9	44,1	45,0
5	24,7	22,8	37,0
6	53,1	49,0	53,1
7	23,7	29,9	25,0
8	33,2	17,5	47,3
9	51,8	*	*
10	24,6	38,1	22,7
11	9,7	62,9	28,6
12	15,4	38,5	*
13	15,4	38,5	*
14	48,6	20,9	45,5
15	34,9	17,6	56,5
16	20,1	17,5	34,8

\* Sofreram algum tipo de manejo (recepta ou esqueletamento)

Pode-se observar que as produtividades apresentam grandes variações nas duas regiões estudadas, bem como nos diversos anos avaliados. As produtividades variaram de 5,0 a 70,0 sacas.ha<sup>-1</sup>, obtida no ano agrícola de 2005/2006 na região de Garça/Marília, e de 7,3 a 53,1 sacas.ha<sup>-1</sup>, no ano agrícola de 2003/2004, na região de Campinas, nas diversas UEs avaliadas. As médias das produtividades das diversas UEs na região de Garça/Marília apresentaram desvio padrão variando de 5 a 17 sacas.ha<sup>-1</sup>, dependendo do ano considerado. É observado, para esta região, o fenômeno de bienalidade bem definido, ou seja, um ano de alta produtividade e o seguinte com produtividade baixa (Figura 10). Já para a região de Campinas nota-se um crescente nas médias das produtividades, em função da idade da planta. Os valores do desvio padrão não apresentam grande variação de um ano para outro, sendo o menor valor encontrado para o ano agrícola de 2005/2006 (11,61 sacas.ha<sup>-1</sup>) e valores próximo a 14,8 sacas.ha<sup>-1</sup> para os demais anos agrícolas (Figura 11).

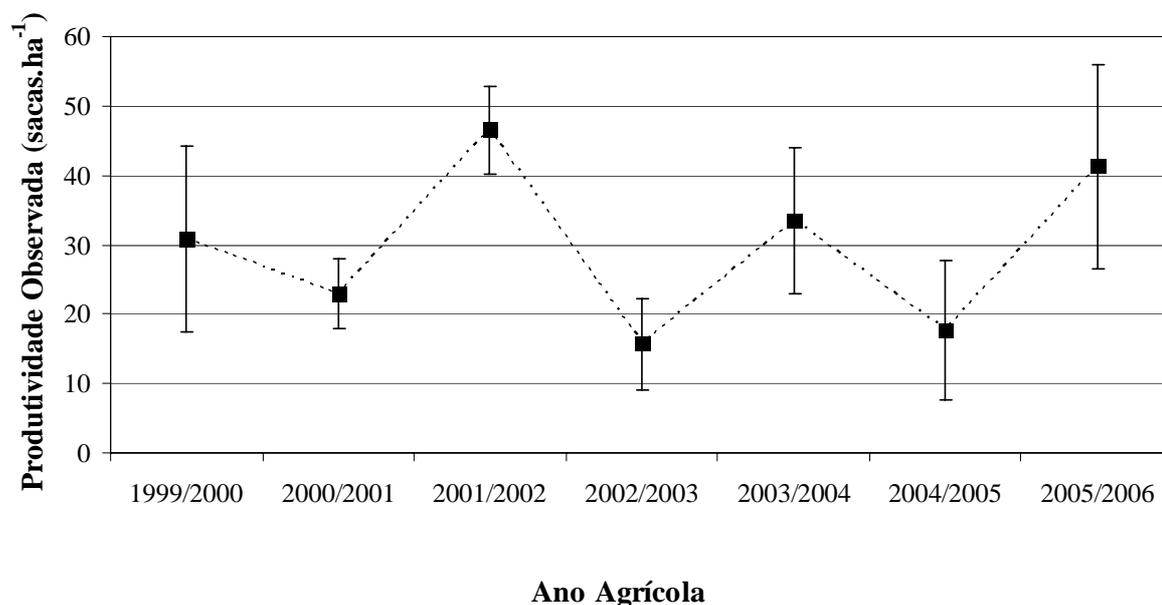


Figura 10 - Média da produtividade observada (PO) e seus respectivos desvios padrões obtidas nas unidades experimentais (UEs) da região de Garça/Marília - SP, no período de 1999 a 2006

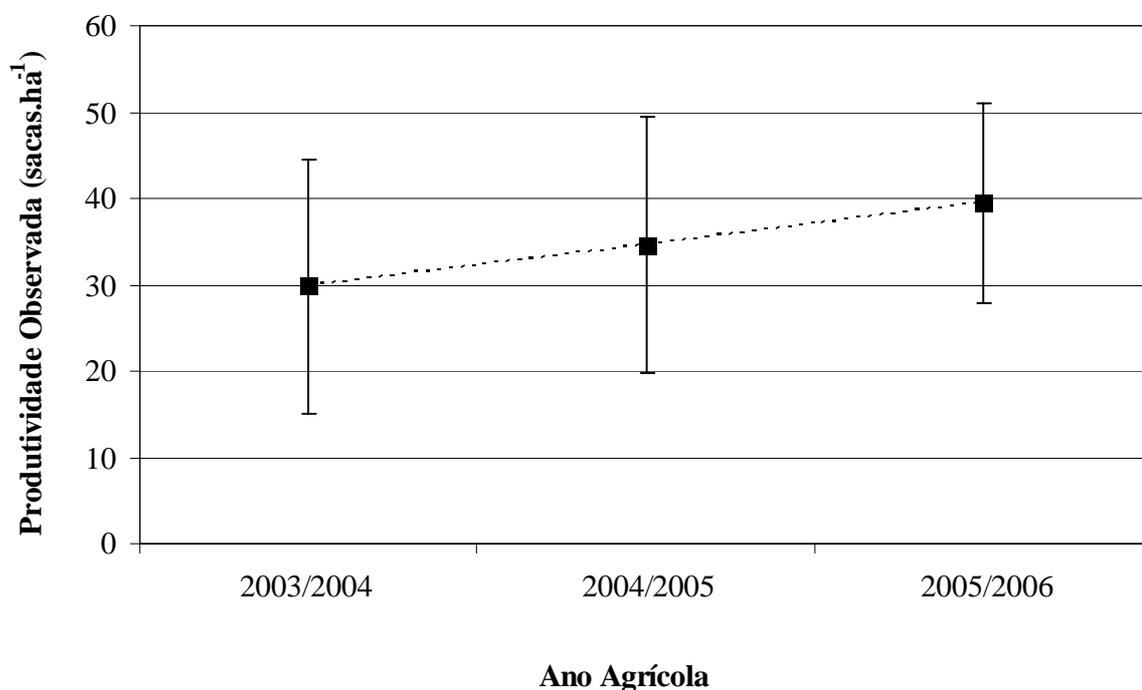


Figura 11 - Média da produtividade observada (PO) e seus respectivos desvios padrões obtidas nas unidades experimentais (UEs) da região de Campinas - SP, no período de 2003 a 2006

### 2.3.3 Características fenológicas X produtividade observada

Com o objetivo de obter as melhores correlações entre as características fenológicas de produção e crescimento com a produtividade observada, para utilização na formação dos índices fenológicos de produtividade, estabeleceu-se curvas de resposta conforme figuras 12 e 13.

Na obtenção das curvas de resposta, foram utilizados os dados das avaliações realizadas na Fazenda Monte D'este nos meses de março, nos anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005. Nota-se que as figuras apresentam a mesma tendência quando são relacionados dados de frutificação (MF45), a altura de planta (ALT) e área vegetal produtiva (AVP) com a produtividade observada (PO). Quando não se tem frutificação, no caso do número médio de frutos presentes no quarto e no quinto internódios produtivos do ramo plagiotrópico avaliado (MF45 = 0) ou número de internódio produtivo presentes no mesmo ramo (NIP = 0), não importa a altura da planta ou o

tamanho da área vegetal produtiva, pois a produtividade observada (PO) será nula. A medida que a 'MF45' ou o 'NIP' crescem, a 'PO' aumenta. Esse aumento da PO vai até certo limite como pode-se notar em todas as figuras, onde a PO varia entre 30 e 40 sacas.ha<sup>-1</sup>, para os menores valores de 'ALT' e 'AVP'. Simultaneamente a PO aumenta, quando aumenta os valores da 'ALT' e 'AVP', até um limite de valor determinado pela genética das plantas e outros fatores ambientais e fitotécnico envolvidos. Essas figuras mostram que os IFPs sofrem influência de todos estes fatores na sua determinação.

Nota-se que o valor de R<sup>2</sup> da superfície de resposta representada na figura 12B relacionando o 'MF45', 'AVP' com a 'PO' apresenta o valor mais elevado (R<sup>2</sup> = 0,66), valor esse bem próximo do apresentado na figura 12A (R<sup>2</sup> = 0,65), mostrando que para esse conjunto de dados houve pouca influência do fator espaçamento entre as ruas de café (ESP), uma vez que as UEs avaliadas eram todas mecanizadas, fazendo com que o 'ESP' fossem semelhantes, variando muito pouco, conforme tabela 2. Esse fato mostra que nestes caso a 'AVP' varia fortemente em função da 'ALT' e não em relação ao número de metros de rua de café plantado em hectare.

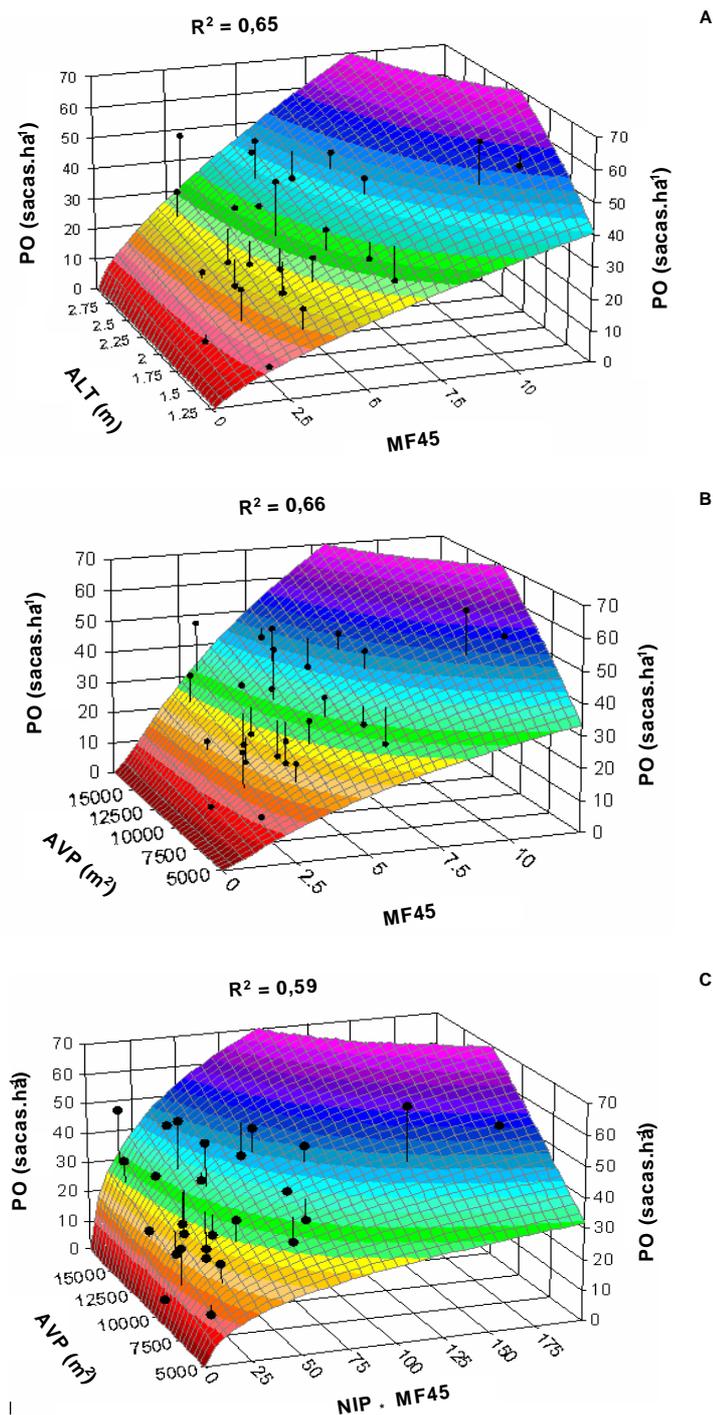


Figura 12 - Curva de resposta de produtividade observada (PO) em sacas.ha<sup>-1</sup> em função: **A**) da média de frutos no 4° e 5° internódios produtivos (MF45) e da altura de planta (ALT) em metro; **B**) da média de frutos no 4° e 5° internódios produtivos (MF45) e da área vegetal produtiva (AVP) em m<sup>2</sup>; **C**) do produto da média de frutos no 4° e 5° internódios produtivos (MF45) com o número de internódio produtivo no ramo (NIP) e da área vegetal produtiva (AVP) em m<sup>2</sup>, para a safra 2003/2005 na Fazenda Monte D'este

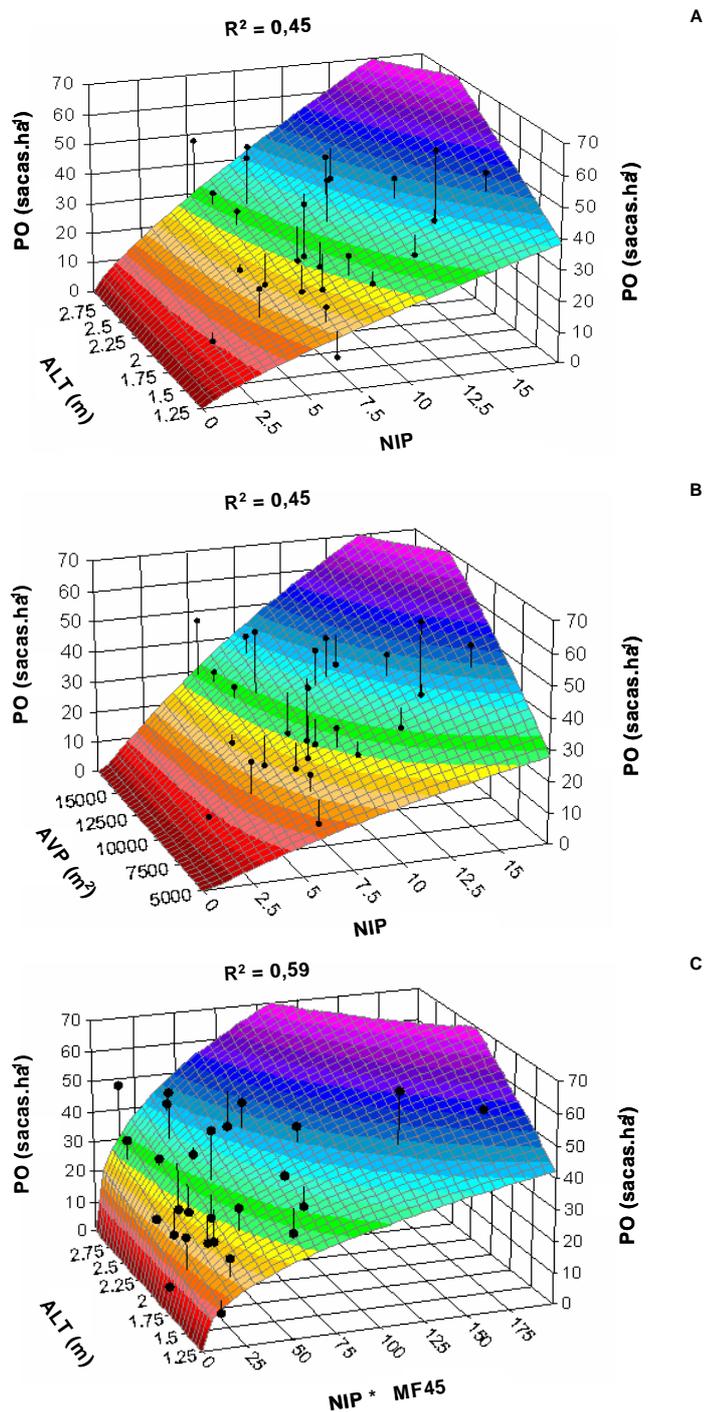


Figura 13 - Curva de resposta de produtividade observada (PO) em  $\text{sacas.ha}^{-1}$  em função: **A)** do número de internócio produtivo no ramo (NIP) e da altura de planta (ALT) em metro; **B)** do número de internócio produtivo no ramo (NIP) e da área vegetal produtiva (AVP) em  $\text{m}^2$ ; **C)** do produto da média de frutos no 4° e 5° internódios produtivos (MF45) com o número de internócio produtivo no ramo (NIP) e da altura de planta (ALT) em metros, para a safra 2003/2005 na Fazenda Monte D'este

O 'NIP' influenciou negativamente o ajuste dos dados quando comparado com 'MF45', conforme mostra a figura 13A e 13B, apresentando valor de  $R^2 = 0,45$  em sua curva de resposta.

Pode-se notar essa mesma influência na figura 13C em que é relacionado 'AVP' com simulação do número total de frutos no ramo plagiotrópico, correspondendo ao produto entre 'MF45' e 'NIP', que apresentou para a mesma superfície de resposta um valor de  $R^2 = 0,59$  inferior ao obtido na superfície da figura 12B onde somente é acrescentado o fator 'NIP'.

Essa influência negativa do 'NIP' pode ser atribuída a presença de frutos de florações "frustradas" do ano anterior as quais resultam em poucos frutos nos internódios produtivos, números esses bem abaixo da média encontrada nos internódios produtivos do ano avaliado, principalmente em UEs com alta produtividade. Este fato é bastante relevante, pois de acordo com a metodologia adotada, o produto entre 'MF45' e o 'NIP' neste caso apresenta um aumento na variabilidade em relação a 'PO', diminuindo a correlação encontrada.

### **2.3.4 Hierarquia do sistema (I + 1) - Talhão**

Baseados nas correlações entre as características fenológicas de produção e crescimento com a produtividade observada, determinou-se os índices fenológicos de produtividade 1 e 2 (IFP1 e IFP2), ao nível de talhão.

#### **2.3.4.1 Índice fenológico de produtividade 1 e 2 (IFP1 e IFP2)**

Nas tabelas 5 e 6 apresentam-se os resultados obtidos para o 'IFP1' no nível de talhão, nas diferentes datas e regiões estudadas, Garça/Marília e Campinas, respectivamente. Os resultados obtidos nestas tabelas foram baseados nas equações 2 e 3.

Tabela 6 - Valores do índice fenológico de produtividade 1 (IFP1), obtidos nas UEs avaliadas nos meses de dezembro e março, na região de Garça/Marília- SP, no período de 1999 a 2006

UE*	Índice Fenológico de Produtividade 1 (IFP1)													
	Ano agrícola													
	1999/2000		2000/2001		2001/2002		2002/2003		2003/2004		2004/2005		2005/2006	
	dezembro	março	dezembro	março	dezembro	março	dezembro	março	dezembro	março	dezembro	março	dezembro	março
1	-	-	-	-	-	-	-	-	136281	115281	37537	29450	131630	102000
2	114311	87932	-	-	166800	122400	33189	25988	91656	65625	28302	22200	141320	109613
3	109220	84016	-	-	-	-	11191	8769	94438	69184	-	-	114499	88725
4	77188	59375	75950	51800	110825	69169	54022	42400	98175	65588	-	-	109275	86025
5	88335	67950	95000	48000	126863	78625	89734	70331	-	-	-	-	-	-
6	93925	72250	42806	28750	105625	101472	-	-	66458	61021	38295	30000	130269	100965
7	98659	75892	-	-	124257	93446	-	-	111432	62243	-	-	96145	74493
8	-	-	-	-	132125	102550	25187	19756	81181	71106	39150	30750	65183	50531
9	52065	40050	44663	36563	82500	53350	37914	29688	-	-	-	-	-	-
10	58381	44909	71625	61000	-	-	-	-	39825	46238	41316	32500	65660	50899
11	73668	56668	-	-	-	-	-	-	88156	67813	72110	56550	141564	109725
12	55832	42948	-	-	-	-	-	-	88156	67813	72110	56550	141564	109725
13	101790	78300	-	-	116875	78625	-	-	-	-	-	-	21981	17031
14	-	-	83036	68214	-	-	39214	50019	106714	80143	95350	74800	172142	133457

\* Unidade experimental

Tabela 7 - Valores do índice fenológico de produtividade 1 (IFP1), obtidos nas UEs avaliadas nos meses de outubro, dezembro, janeiro e março, na região de Campinas - SP, no período de 2003 a 2006

UE*	Índice Fenológico de Produtividade 1 (IFP1)											
	Ano agrícola											
	2003/2004				2004/2005				2005/2006			
	outubro	dezembro	janeiro	março	outubro	dezembro	janeiro	março	outubro	dezembro	janeiro	março
1	46184	23921	4500	10421	158579	132553	90239	79289	62704	47605	27632	30553
2	99600	95800	63000	39200	-	-	-	-	142400	124000	95850	84800
3	116786	95143	60000	63200	-	-	-	-	-	-	-	-
4	108036	82143	52857	53571	150600	113400	92530	81600	100843	120343	85779	76514
5	52230	32434	14092	18342	81447	50000	48979	43158	90789	76421	51088	47368
6	140806	121234	102352	105921	137237	92632	82867	72632	108553	94368	68412	53842
7	52592	32237	17132	24684	177605	102000	64071	55921	37678	36921	26186	24211
8	70125	47763	29961	37342	82375	64500	44579	39500	87461	65368	46151	41763
9	116145	83132	55079	64316	-	-	-	-	-	-	-	-
10	89789	59579	42316	57684	134171	87632	54964	48316	44072	49026	35941	35526
11	39513	26941	12914	13684	146849	138684	101574	89026	131625	84000	56890	46421
12	75816	55553	30623	31987	152237	116026	93349	82105	-	-	-	-
13	75816	55553	30623	31987	152237	116026	93349	82105	-	-	-	-
14	95550	78600	54000	49800	99786	79829	50683	44629	151914	118114	88998	68343
15	102632	82421	56526	54947	84000	58105	46975	41053	160461	142895	92807	84474
16	72129	75743	49971	24514	84007	71657	48254	42343	98571	91200	68838	50057

\* Unidade experimental

Observa-se uma grande amplitude dentro do conjunto de dados obtidos em ambas as regiões e anos agrícolas avaliados, variando, por exemplo, na tabela 7, entre 177605 ( $n^{\circ}$  de frutos \*  $m^2$  (linear)) e 37678 para valores obtidos na região de Campinas, na avaliação do mês de outubro em uma mesma UE, em anos agrícolas diferentes. Para a região de Garça/Marília (Tabela 6), os valores do 'IFP1' obtidos na avaliação do mês de dezembro mostraram grande variabilidade sendo a maior registrada para o ano agrícola 2005/2006, com valores superiores a 150000 de diferença de uma UE para outra. Repetiu-se essa amplitude para todas as épocas avaliadas, nas suas devidas proporções. Nota-se uma tendência decrescente nos valores dos 'IFP1' quando se analisa os dados na ordem cronológica de avaliação. Para a região de Garça/Marília, os valores obtidos em dezembro são bem maiores do que os obtidos em março. O mesmo acontece para os dados da região de Campinas. Isso ocorre devido ao fato de, no mês de dezembro os internódios produtivos do ano, apresentarem maiores números de frutos do que em março. Em dezembro ainda não ocorreu o fenômeno de queda prematura de frutos, também conhecida como "queda de chumbinho", que acontece logo no início do período de expansão rápida dos frutos, iniciada nos meses de dezembro e janeiro. Na região de Campinas os valores obtidos no mês de outubro são maiores que os de dezembro, que por sua vez são maiores que os de janeiro e março, os quais apresentam poucas diferenças. Esses dados, obtidos em outubro, refletem o potencial da primeira florada. Devido a fatores climáticos como alta temperatura e déficit hídrico no período pós florada, ocorrem abortamentos naturais dos botões florais e queda de flores, resultando no final desse período, no mês de dezembro, em um número menor de "chumbinhos" presentes nos internódios produtivos, quando comparados com a quantidade de flores presentes nos mesmos internódios avaliados em outubro.

Estes dados sugerem que metodologia utilizada permite diferenciar níveis de produtividade, altos e baixos, independentemente da época, cultivar e local avaliado. Essa mesma sugestão pode ser estendida para os dados obtidos com 'IFP2', apresentados na tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Valores do índice fenológico de produtividade 2 (IFP2), obtidos nas UEs avaliadas nos meses de dezembro e março, na região de Garça/Marília- SP, no período de 1999 a 2006

UE*	Índice Fenológico de Produtividade 2 (IFP2)													
	Ano agrícola													
	1999/2000		2000/2001		2001/2002		2002/2003		2003/2004		2004/2005		2005/2006	
	dezembro	março	dezembro	março	dezembro	março	dezembro	março	dezembro	março	dezembro	março	dezembro	março
1	-	-	-	-	-	-	-	-	817688	691688	153903	120745	1039877	805800
2	1034514	795780	-	-	1534560	1126080	165946	129938	595766	426563	116039	91020	1409273	1093084
3	1177397	905690	-	-	-	-	55953	43844	613844	449696	-	-	999004	774126
4	778050	598500	432915	295260	979416	611279	270111	212000	589050	393525	-	-	1163779	916166
5	870100	669308	574750	290400	1070226	663289	448668	351656	-	-	-	-	-	-
6	899802	692155	229010	153813	1025443	985126	-	-	431979	396635	172328	135000	1175677	911212
7	1033951	795347	-	-	1093459	822324	-	-	668595	373459	-	-	746722	578564
8	-	-	-	-	1294825	1004990	125935	98781	487088	426638	227070	178350	451393	349929
9	557096	428535	397496	325406	837768	541757	189572	148438	-	-	-	-	-	-
10	445447	342652	803371	659973	-	-	-	-	238950	277425	239631	188500	630523	488768
11	812555	625043	-	-	-	-	-	-	528938	406875	540825	424125	1316548	1020443
12	615266	473281	-	-	-	-	-	-	528938	406875	540825	424125	1316548	1020443
13	883537	679644	-	-	1051875	707625	-	-	-	-	-	-	50191	38888
14	-	-	1464330	817950	-	-	250097	196071	693643	520929	610237	478720	1721417	1334571

\* Unidade Experimental

Tabela 9 - Valores do índice fenológico de produtividade 2 (IFP2), obtidos nas UEs avaliadas nos meses de outubro, dezembro, janeiro e março, na região de Campinas - SP, no período de 2003 a 2006

UE*	Índice Fenológico de Produtividade 2 (IFP2)											
	Ano agrícola											
	2003/2004				2004/2005				2005/2006			
	outubro	dezembro	janeiro	março	outubro	dezembro	janeiro	março	outubro	dezembro	janeiro	março
1	144711	141260	9000	23933	1974088	1605544	915049	771287	471847	342229	176612	183167
2	903248	849626	532350	220190	-	-	-	-	1648280	1410500	1050157	812902
3	689036	561343	354000	274998	-	-	-	-	-	-	-	-
4	826473	638661	368679	318469	1265040	966735	693975	601986	1046245	1263600	832060	735812
5	254332	158747	53902	78390	603842	371618	435404	359676	916974	773763	462628	404408
6	2540765	2081513	1645308	1671734	2041398	1296842	1076140	881014	1351480	1092314	716999	517653
7	428845	266536	116066	159849	2279761	1319452	799130	675466	241137	240500	131476	110561
8	592556	354641	207477	316491	827926	581405	353773	278454	843994	563803	374979	305285
9	884958	641268	378668	436184	-	-	-	-	-	-	-	-
10	1103662	656361	418926	549000	1962158	1165737	794768	644196	393346	415634	288425	246094
11	306227	196743	88464	89863	2121556	1941579	1433346	1159496	1714416	987000	604934	442612
12	497541	353198	200966	201407	1802579	1445355	1032977	906121	-	-	-	-
13	497541	353198	200966	201407	1802579	1445355	1032977	906121	-	-	-	-
14	1056093	823553	523800	455794	955448	719871	394373	353505	1722539	1271369	888748	694107
15	1096447	818716	500258	493050	828800	528607	470673	370426	1985699	1661151	978341	803480
16	554589	571017	341055	122395	809969	684440	463637	344854	1002964	914280	640959	392949

\* Unidade experimental

### 2.3.4.2 Produtividade observada X índices fenológicos de produtividade 1 e 2

Para a estimativa da 'PO' a partir dos 'IFP1' e 'IFP2' foram determinadas regressões lineares conforme são apresentados nas figuras 14 a 17.

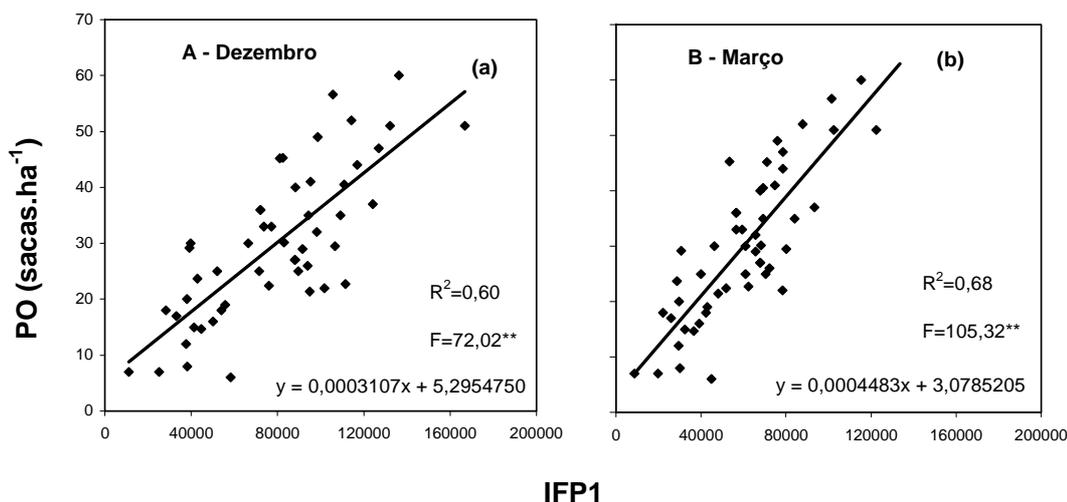


Figura 14 - Regressão entre a produtividade observada (PO) e o índice fenológico de produtividade 1 (IFP1) obtidos nas Unidades experimentais (n = 51) da região de Garça e Marília - SP, nos anos agrícolas 1999/2000 a 2004/2005 em dezembro (A) e março (B). As letras entre parêntesis representam os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade, entre os meses selecionados

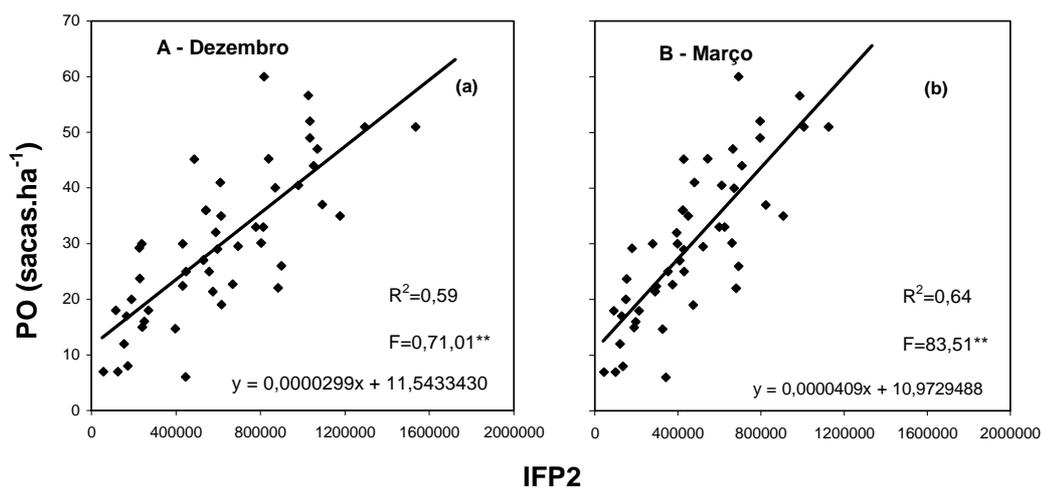


Figura 15 - Regressão entre a produtividade observada (PO) e o índice fenológico de produtividade 2 (IFP2) obtidos nas Unidades experimentais (n = 51) da região de Garça e Marília - SP, nos anos agrícolas 1999/2000 a 2004/2005 em dezembro (A) e março (B). As letras entre parêntesis representam os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade, entre os meses selecionados

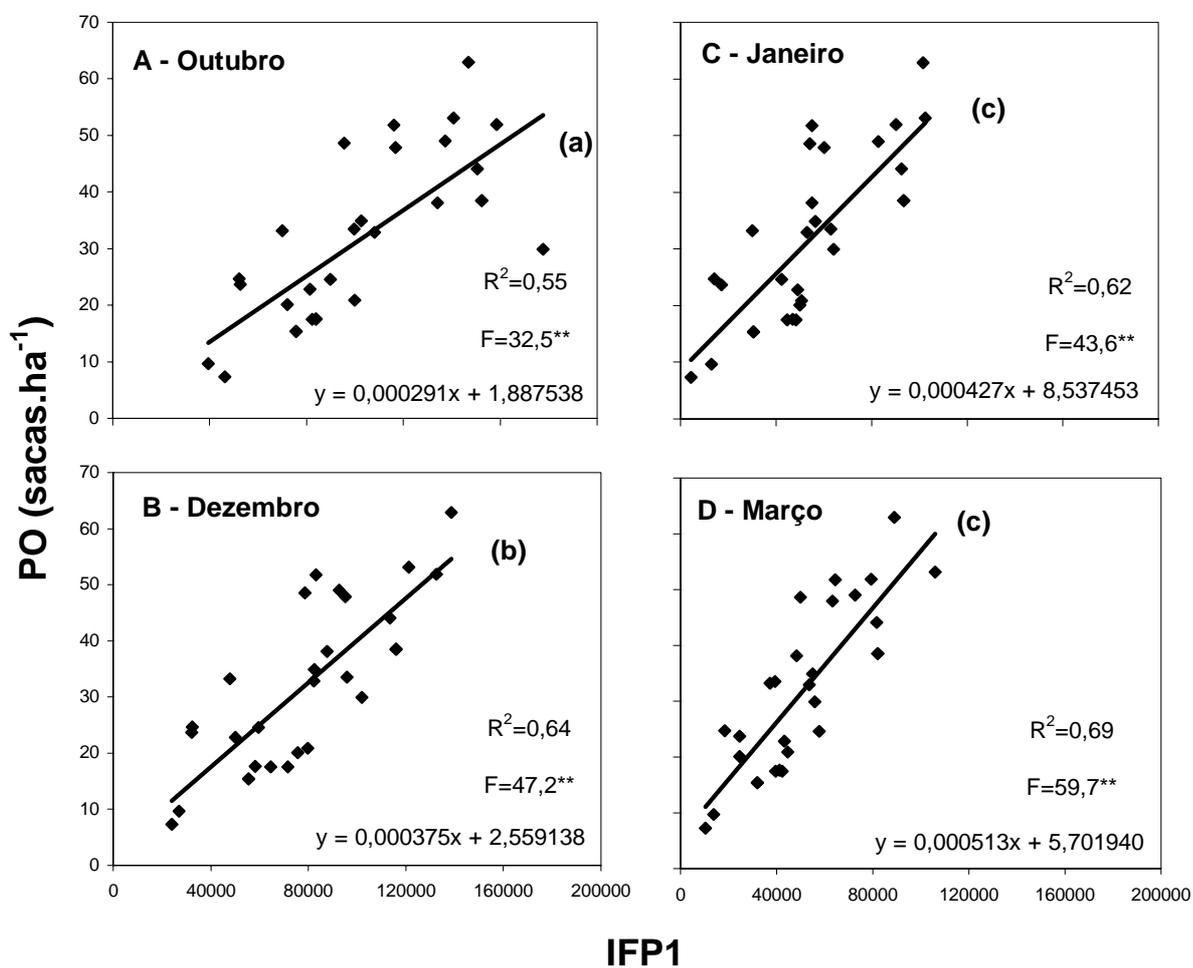


Figura 16 - Regressão entre a produtividade observada (PO) e o índice fenológico de produtividade 1 (IFP1) obtidos nas Unidades experimentais (n = 29) da região de Campinas - SP, nos anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005 em outubro (A), dezembro (B), janeiro (C) e março (D). As letras entre parêntesis representam os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade, entre os meses selecionados

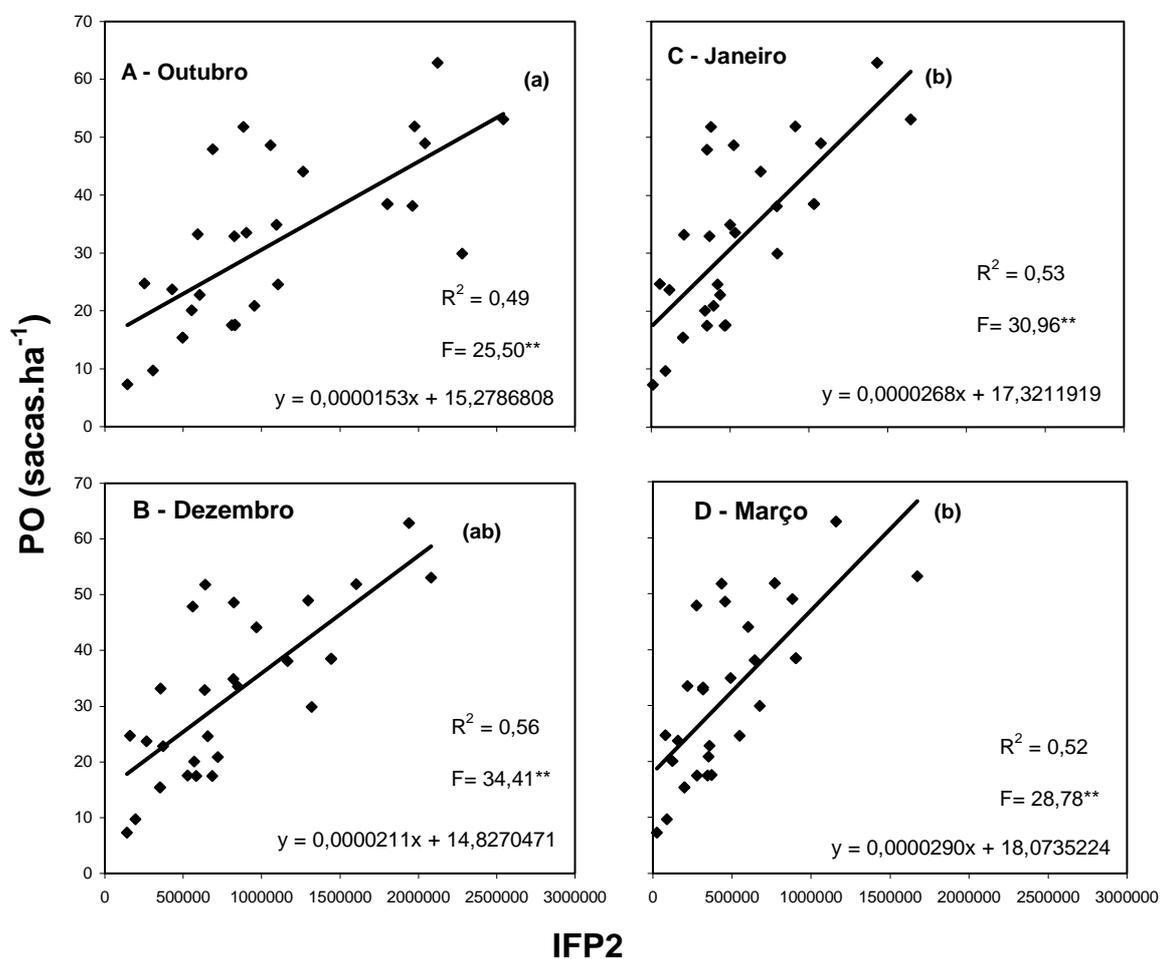


Figura 17 - Regressão entre a produtividade observada (PO) e o índice fenológico de produtividade 2 (IFP2) obtidos nas Unidades experimentais (n = 29) da região de Campinas - SP, nos anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005 em outubro (A), dezembro (B), janeiro (C) e março (D). As letras entre parêntesis representam os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade, entre os meses selecionados

Nota-se que a relação entre as variáveis correlacionadas 'IFP1', 'IFP2' com a 'PO' apresentaram uma tendência linear em ambas as regiões e épocas avaliadas. A significância dos coeficientes ajustados entre as variáveis estudadas, foi comprovada pelo teste F, significativo a 5% de probabilidade em todos os modelos de regressão. Este fato indica que a 'PO' aumenta linearmente conforme o aumento dos 'IFP1' ou 'IFP2'.

Para a região de Campinas (Figuras 16 e 17), os modelos lineares explicam em média 60% e 50% da variação total desses conjuntos de pares de dados para os 'IFP1' e 'IFP2', respectivamente, sendo que para o 'IFP1' o melhor resultado de  $R^2$  foi encontrado na avaliação realizada em março ( $R^2 = 0,69$ ) (Figura 16D). Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que o número de frutos presentes na planta nesta época já está definido, com pouca variação até a colheita. Os resultados referentes ao mês de outubro (Figuras 16A e 17A), apresentam os menores valores de  $R^2$  para os dois modelos avaliados. Esses resultados são explicados pela grande variação do número de flores até o pegamento das mesmas. Os  $R^2$  obtidos nas regressões com os dados de dezembro ( $R^2 = 0,63$  e  $R^2 = 0,56$ ) (Figuras 16B e 17B) são semelhantes aos obtidos nas avaliações de janeiro e março (Figuras 16C, 17C e 16D, 17D) nos dois índices fenológicos de produtividade.

Esses resultados são semelhantes aos obtidos na região de Garça/Marília, onde os resultados de  $R^2$  para ambos os índices utilizados, foram semelhantes nas diferentes épocas avaliadas, apresentando os melhores resultados obtidos  $R^2$  na avaliação do mês de março ( $R^2 = 0,68$  e  $R^2 = 0,64$ ) (Figuras 14B e 15B). Estes resultados mostram que é possível realizar estimativas com o mesmo nível de precisão com até seis meses de antecedência da colheita, uma vez que essa se inicia na maioria das vezes no mês de maio.

Esses valores de  $R^2$ , próximos a 60% a 70%, da variação total, dos conjuntos de pares de dados em ambas as regiões avaliadas, ao nível de talhão, podem ser atribuídos ao tamanho da amostragem, a qual na extrapolação de uma pequena amostra de dados para uma maior, pode apresentar grande variação. Valores semelhantes foram encontrados por Pulgarin & Cordoba (1992) em trabalho realizado na Colômbia, os quais foram obtidos com dois meses de antecedência da colheita, devido as características fenológicas da planta de café naquele país. Estes autores mostraram que em lotes pequenos, variando de 0,5 a 1,5 hectare, o coeficiente de determinação fica ao redor de  $R^2 = 0,82$  ( $n = 24$ ) contra  $R^2 = 0,66$  ( $n = 76$ ) variando de 0,05 a 15 hectares.

Nota-se que em ambas as regiões estudadas o coeficiente de determinação  $R^2$ , é menor para o 'IFP2' em relação ao 'IFP1'. Isto se deve ao fato do 'NIP' apresentar uma baixa correlação com a 'PO', conforme apresentado na figura 13. Dados estes que contradizem os obtidos por Browning e Dorward (1989) os quais, através de modelos matemáticos mostram estreita relação

entre a produção de uma cultura com alguns fatores como o número de nós produtivos e números de frutos por nó, entre outros.

Essa baixa correlação pode estar relacionada ao fato da presença de internódios produtivos nos ramos plagiotrópicos, provenientes de floradas frustradas do ano anterior, os quais emitem poucos botões florais, conseqüentemente, poucos frutos (um normalmente), os quais são contabilizados com o mesmo peso no cálculo do 'IFP2'. Em ano de baixa produtividade, geralmente com menos internódios produtivos, estes internódios provenientes de floradas frustradas fazem com que aumente o 'NIP' e apresente uma correlação inversa a 'PO'.

Na figura 16 as retas não variam estatisticamente em relação aos meses de janeiro e março, as quais diferem estatisticamente dos meses de outubro e dezembro. Este resultado mostra que no período "pós queda de chumbinho" a variação dos frutos presentes nos internódios é muito pequena podendo ser realizada avaliação a qualquer momento, utilizando praticamente uma mesma equação neste período, obtendo resultados com a mesma precisão entre a 'PO' e o 'IFP1' neste período.

Cada ponto presente nos gráficos de regressão representa a média de 40 ramos amostrados, conforme descrita na metodologia. Este procedimento foi adotado devido a alta variabilidade entre o número de frutos presentes no ramo de plantas produtivas e não produtivas dentro de uma UE, ao nível de talhão. Este número de pontos pode ser considerado superior ou igual ao número de pontos necessários para serem amostrados para atingir o nível de precisão obtido nas regressões mostradas anteriormente, conforme mostrado nas figuras 18 e 19. Nota-se que a variação de  $R^2$  (conforme item 2.2.4.5) é muito grande quando se utiliza de poucos ramos para a determinação do 'IFP', e que gradativamente estes valores vão se estabilizando até se manter estável, em torno de 30 a 35 ramos amostrados para a região de Campinas (Figura 19) e acima de 35 ramos amostrados para a região de Garça/Marília (Figura 18).

Conforme já mencionado anteriormente, as melhores precisões entre o indicativo de produtividade, ao nível de talhão, e a 'PO' foram encontradas em unidades experimentais menores, em torno de um hectare (PULGARIN & CÓRDOBA, 1992). Esse fato pode ser considerado de extrema relevância para se obter uma precisão maior entre 'PO' e 'IFP' em UE maiores de 3 hectares. Para esses casos seria necessário um maior número de pontos amostrados, sendo considerado necessário para cada ponto amostrado, a partir de 40 ramos. Por exemplo, uma

UE com 5 hectares, seria necessário fazer 3 pontos de amostragem, para obter uma maior precisão, totalizando em torno de 120 ramos avaliados.

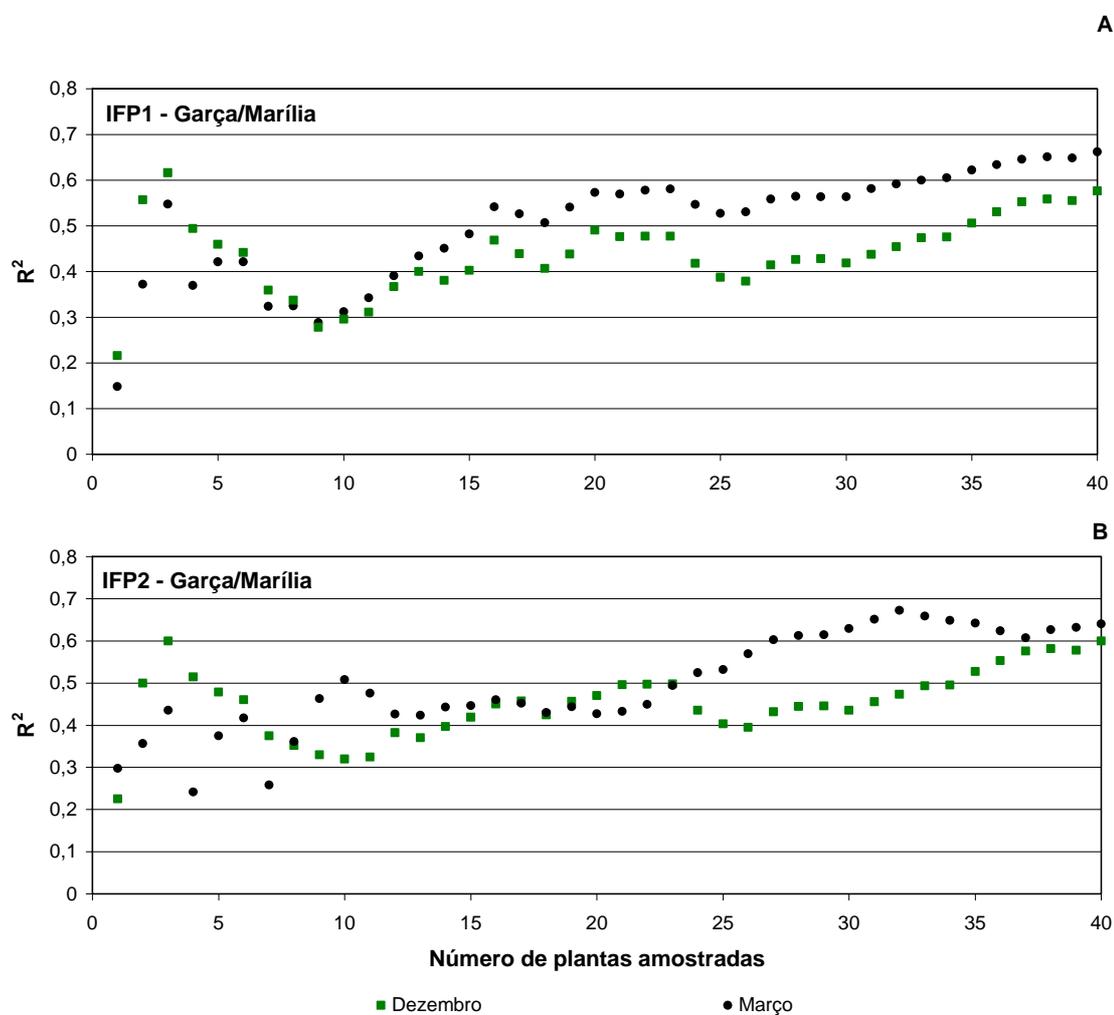


Figura 18 - Número de ramos amostrados, para cada Unidade experimental (UE), na região de Garça/Marília - SP, com base nos dados obtidos nos anos agrícolas de 1999/2000 a 2004/2005 para 'IFP1' (A) e 'IFP2' (B) para dezembro e março

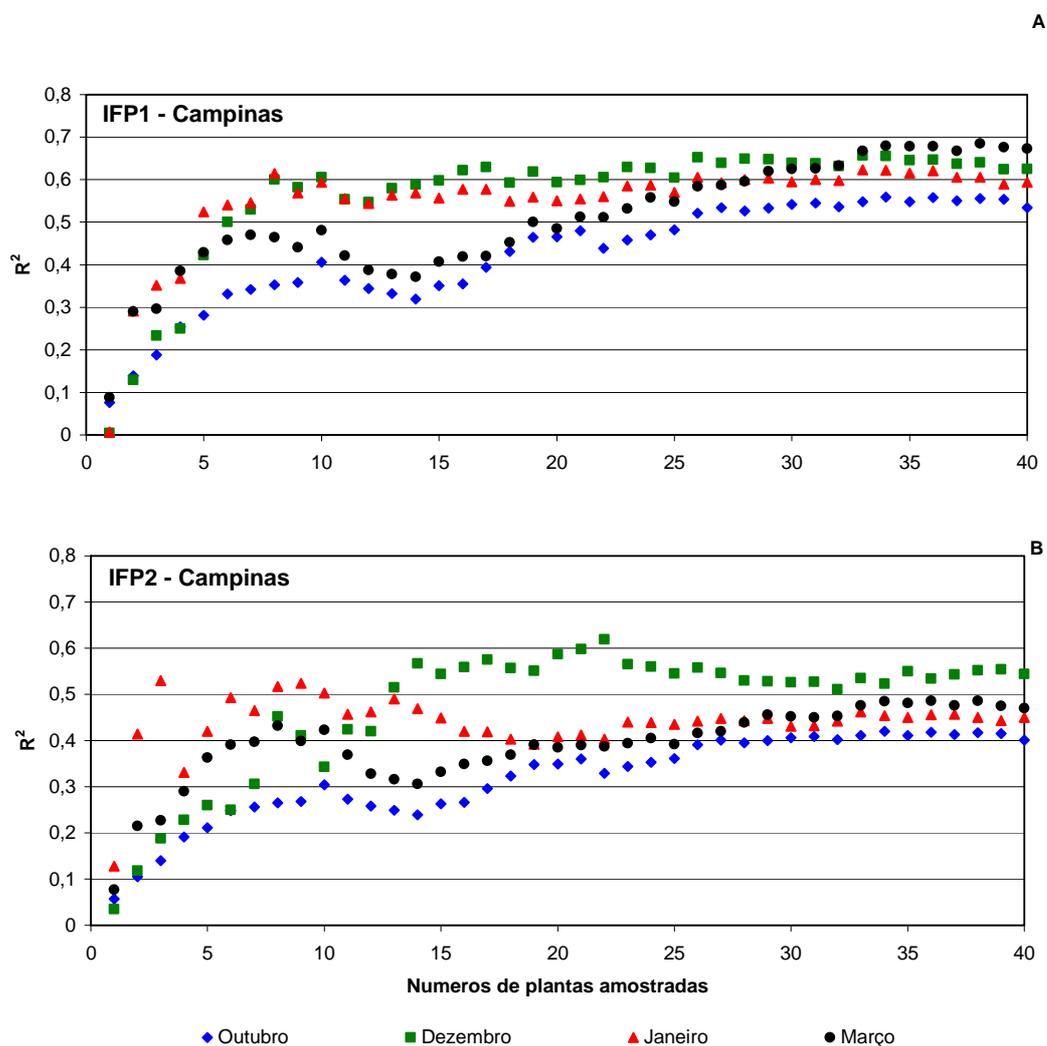


Figura 19 - Número de ramos amostrados, para cada Unidade experimental (UE), na região de Campinas - SP, com base nos dados obtidos nos anos agrícolas de 2003/2004 e 2004/2005 para 'IFP1' (A) e 'IFP2' (B) para outubro, dezembro, janeiro e março

### 2.3.4.3 Testes dos modelos

Uma vez obtidos os modelos resultantes das regressões entre 'PO' e os 'IFPs' (Figuras 14, 15, 16 e 17), os mesmos foram testados com dados independentes do ano agrícola 2005/2006. Na tabela 10 estão apresentados os resultados para as duas regiões estudadas, ao nível de talhão. Os

parâmetros apresentados são: coeficiente de concordância (d), baseado na análise estatística de Willmott et al. (1985), erro aleatório ou não sistemático (Ea), erro sistemático (Es), precisão ( $R^2$ ), erro médio absoluto (EMA), e o coeficiente de confiança (C) proposto por Camargo & Sentelhas (1997) citado por Santos (2005), nas diversas épocas avaliadas. Também é apresentada a estatística obtida quando comparada a estimativa visual.

Tabela 10 - Resultados das análises estatísticas (d,  $R^2$ , EMA, Ea, Es e C) dos testes dos modelos matemáticos fenológicos para o nível de talhão, testados utilizando os dados do ano agrícola de 2005/2006 nas duas regiões estudadas

Modelo	Mês	Garça/Marília						Campinas					
		d	$R^2$	EMA	Ea	Es	C	d	$R^2$	EMA	Ea	Es	C
		sacas.ha <sup>-1</sup>											
IFP1	OUT	–	–	–	–	–	–	0,77	0,54	10,09	7,65	8,56	0,56
	DEZ	0,85	0,68	9,19	7,14	8,69	0,70	0,87	0,65	5,99	7,25	4,28	0,70
	JAN	–	–	–	–	–	–	0,85	0,62	6,05	6,37	5,34	0,67
	MAR	0,88	0,68	8,32	7,99	6,44	0,72	0,83	0,63	6,59	6,12	6,96	0,66
IFP2	OUT	–	–	–	–	–	–	0,74	0,49	9,32	6,04	8,87	0,52
	DEZ	0,83	0,56	8,91	8,82	7,81	0,62	0,83	0,63	6,73	5,58	6,63	0,66
	JAN	–	–	–	–	–	–	0,79	0,61	7,39	4,99	7,88	0,61
	MAR	0,85	0,56	8,53	9,38	6,57	0,63	0,73	0,62	8,54	4,15	9,66	0,58
Visual	MAR	0,82	0,60	11,83	10,02	9,30	0,64	0,88	0,86	7,71	6,11	7,19	0,82

O modelo baseado no 'IFP1' apresentou uma maior exatidão quando comparado com o modelo baseado no 'IFP2' de acordo com o índice de Willmott 'd'. Essa superioridade pode ser notada em ambas regiões estudadas. A menor exatidão foi encontrada para o 'IFP2' em Campinas em março (d = 0,73). Já a maior exatidão foi obtida no mês de março em Garça/Marília (d = 0,88) para o 'IFP1'.

Nota-se na tabela 10 que os menores valores encontrados para os coeficientes 'C' e ' $R^2$ ' foram encontrados para os modelos obtidos com as avaliações realizadas no mês de outubro C = 0,56 e  $R^2$  = 0,54 (IFP1) e C = 0,52 e  $R^2$  = 0,49 (IFP2). Estes resultados já eram esperados devido

a avaliação realizada neste mês estar muito longe do período de colheita da cultura e conseqüentemente sofrer influências de fatores internos e externos que afetam o seu desenvolvimento normal, e também de acordo com os resultados obtidos no ajuste dos modelos apresentados anteriormente (Figuras 16 e 17), os quais apresentaram um pior desempenho para as avaliações realizadas nesta época, quando comparadas com os demais ajustes obtidos com as avaliações realizadas nos demais meses determinados neste estudo.

Os baixos valores obtidos para o mês de outubro, também estão relacionados com os altos valores dos erros, em especial o erro médio absoluto ( $EMA = 10,09$  e  $9,32$  sacas.ha<sup>-1</sup>) e o erro sistemático ( $Es = 8,56$  e  $8,77$ ) para 'IFP1' e 'IFP2', respectivamente, quando comparados com as demais épocas de avaliação. Por este mesmo motivo o valor de  $d = 0,73$  obtido no mês de março para o 'IFP2', foi menor que o obtido no mês de outubro ( $d = 0,74$ ). No mês de março o valor do 'Es' ( $9,66$  sacas.ha<sup>-1</sup>) foi mais elevado que os demais. Quando comparado em termos de 'IFP', nota-se que o componente fisiológico 'NIP' aumenta o 'Es' dos modelos, resultando em um pior desempenho dos modelos obtido com 'IFP2'. Este resultado contradiz as afirmações de Browning & Dorward (1989), que utilizando modelos matemáticos, mostram estreita relação entre a produção da cultura e o número de nós produtivos, número de frutos por nó e peso médio dos frutos. Cannell (1973) sugeriu que a estimativa de produtividade de café poderia ser realizada através de modelos matemáticos baseados em componentes fisiológicos da produção, como o número de nós com frutos, no caso, a estimativa antecipada pode ser realizada, com a ressalva de o modelo (IFP2) apresentou uma menor precisão e desempenho em relação a outro modelo onde este componente fisiológico de produtividade não é utilizado.

De acordo com o ajuste dos modelos, o desempenho dos mesmos obtidos com as avaliações nos meses de dezembro, janeiro e março foram semelhantes, variando de  $C = 0,66$  a  $C = 0,70$  e  $C = 0,58$  a  $C = 0,66$  para o 'IFP1' e 'IFP2' respectivamente, sendo o melhor desempenho obtido no mês de dezembro em ambos os 'IFPs' na região de Campinas.

Para a região de Garça/Marília os bons desempenhos dos modelos também foram bastante semelhantes, quando comparado a época de avaliação, sendo que os modelos obtidos no mês de março apresentaram os melhores desempenhos, com os maiores valores dos índices 'd' e 'C' e erros variando de  $8,32$  e  $6,44$  sacas.ha<sup>-1</sup> ('EMA' e 'Es', respectivamente) para o 'IFP1' e  $8,53$  e  $6,57$  sacas.ha<sup>-1</sup> ('EMA' e 'Es', respectivamente) para o 'IFP2'.

Nota-se na tabela 10 que os modelos obtidos com o 'IFP1' apresentaram melhores desempenhos, quando comparadas as respectivas épocas de avaliação, do que os modelos baseados no 'IFP2'. Fato esse explicado pela influência negativa do componente fisiológico 'NIP' para a composição do modelo, aumentando os valores do erro sistemático do modelo.

Quando comparado os modelos baseados no 'IFP1' e 'IFP2' com o modelo baseado na estimativa visual (EPVIS), na região de Campinas, nota-se que os valores do índice 'd' apresentaram-se bem próximos nas épocas de avaliação de dezembro, janeiro e março (IFP1) com os valores da 'EPVIS'. Esses resultados sugerem que as exatidões dos modelos obtidos nas diversas épocas de avaliação, neste caso, apresentaram-se semelhantes ao modelo subjetivo baseado na estimativa visual, observação esta considerada também para os modelos obtidos na região de Garça /Marília.

Quando analisados os coeficientes ' $R^2$ ', para todos os modelos, obtidos para a região de Campinas, baseados em todas as épocas de avaliação e 'IFPs', os mesmos apresentaram valores inferiores ao da 'EPVIS'. Estes resultados podem ser atribuídos, ao fato de que os modelos baseados nos 'IFPs' não conseguem estimar a produtividade elevada, acima de 40-50 sacas.ha<sup>-1</sup> para algumas UEs, como mostram as UEs 6 e 8 para a região de Campinas (Figuras 23 e 24) e UEs 1, 3, 4 e 7 na região de Garça/Marília (Figuras 20 e 21). Fahl et al. (2005) já haviam notado esse problema na avaliação de março utilizando o 'IFP1' na região de Garça/Marília. Este comportamento pode estar relacionado aos erros sistemáticos e aleatórios presentes na elaboração dos modelos e aos dados disponíveis.

Para as regiões estudadas, os resultados de ' $R^2$ ' foram semelhantes para ambos os 'IFPs' entre as respectivas épocas de avaliação (Tabela 10). O mesmo não pode ser dito para os resultados da 'EPVIS' que apresentaram grande diferença de uma região para outra ( $R^2 = 0,60$  para Garça/Marília e  $R^2 = 0,86$  para Campinas). Essas diferenças podem ser atribuídas a subjetividade na obtenção dos dados, em função do técnico avaliador, variação essa não detectada nos modelos baseados nos 'IFPs'.

Essa subjetividade pode ser confirmada quando analisado o coeficiente 'C' o qual associa os coeficientes 'd' e 'r' determinando o desempenho do modelo, segundo Camargo e Sentelhas (1997). Para a região de Campinas o desempenho da 'EPVIS' foi superior ao desempenho dos modelos utilizando os 'IFP1'. Já para a região de Garça/Marília o resultado da 'EPVIS'

apresentou um desempenho mediano. O destaque da grande variação dos valores de ‘C’ na ‘EPVIS’, se deve aos resultados obtidos nos coeficiente ‘R<sup>2</sup>’.

Os desempenhos dos modelos com dados independentes do ano agrícola 2005/2006, podem ser observados nas figuras 20, 21, 22, 23, 24 e 25.

### Garça/Marília IFP1

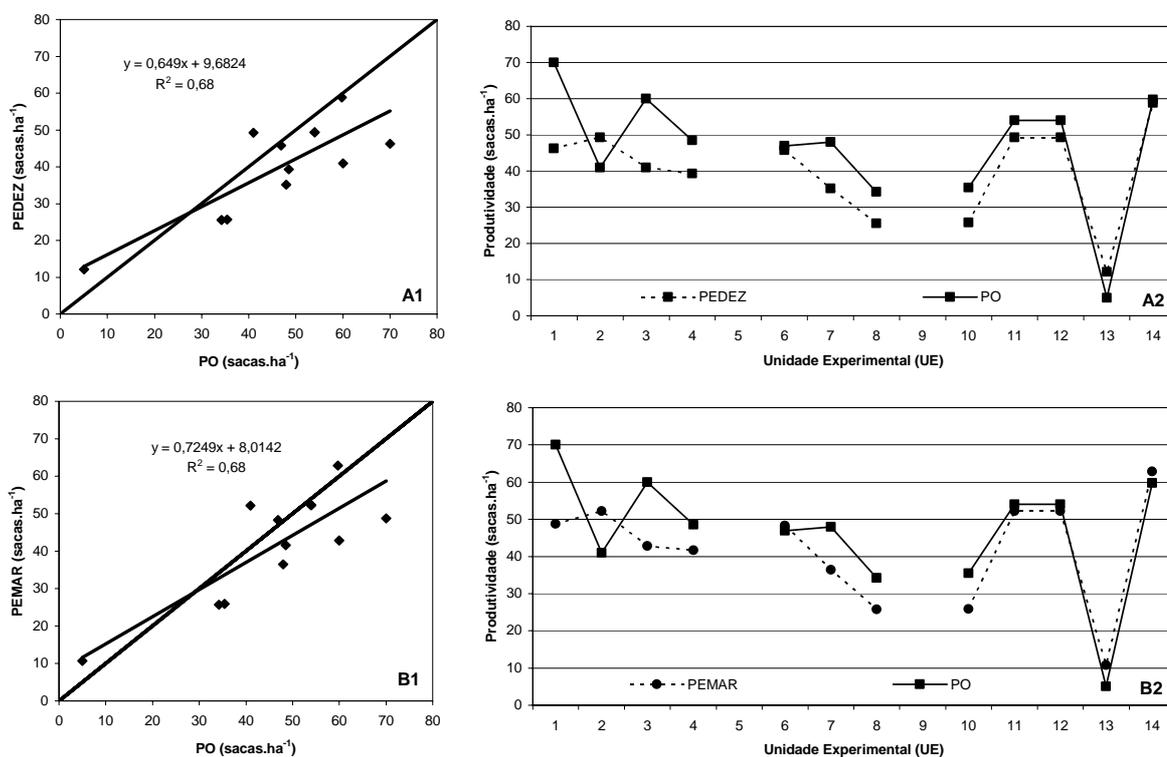


Figura 20 - Produtividades observadas e estimadas (sacas.ha<sup>-1</sup>) pelo modelo fenológico de produtividade utilizando ‘IFP1’ parametrizado ao nível de talhão para a localidade de Garça/Marília - SP, nas duas épocas avaliadas dezembro (A) e março (B), para o ano agrícola de 2005/2006

### Garça/Marília IFP2

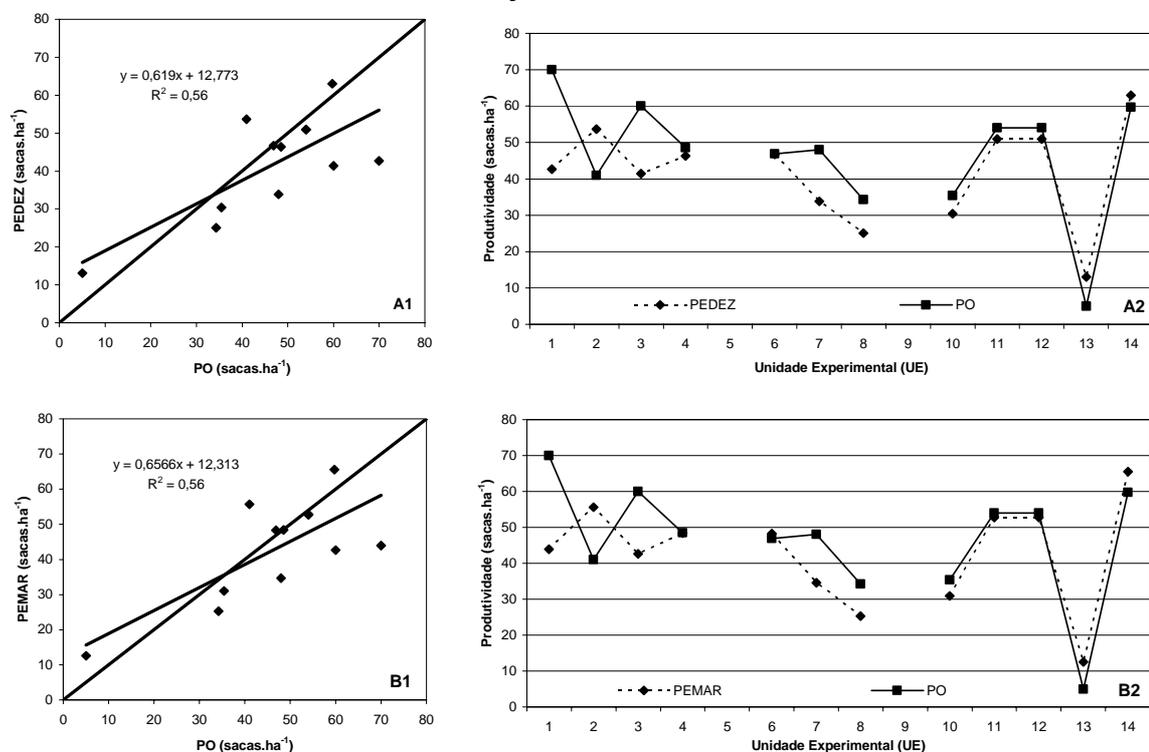


Figura 21 - Produtividades observadas e estimadas (sacas.ha<sup>-1</sup>) pelo modelo fenológico de produtividade utilizando 'IFP2' parametrizado ao nível de talhão para a localidade de Garça/Marília - SP, nas duas épocas avaliadas dezembro (A) e março (B), para o ano agrícola de 2005/2006

### Garça/Marília - Estimativa Visual

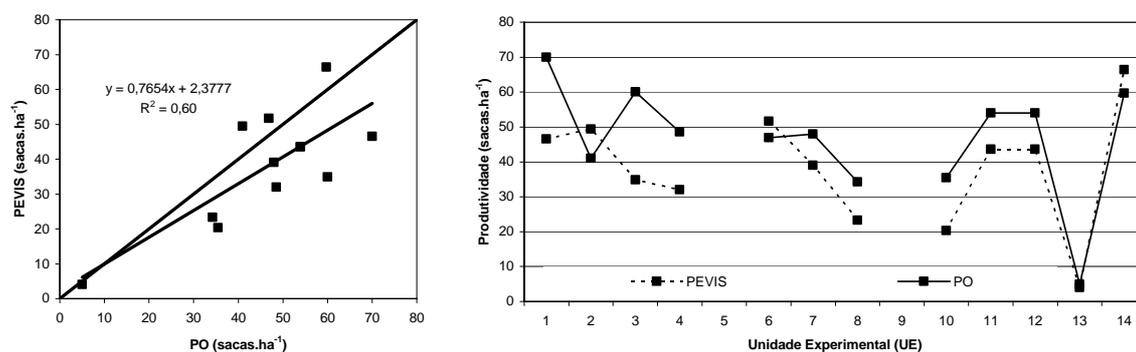


Figura 22 - Produtividades observadas e estimadas (sacas.ha<sup>-1</sup>) pelo método visual, parametrizado ao nível de talhão para a localidade de Garça/Marília - SP, para o ano agrícola de 2005/2006

## Campinas - IFP1

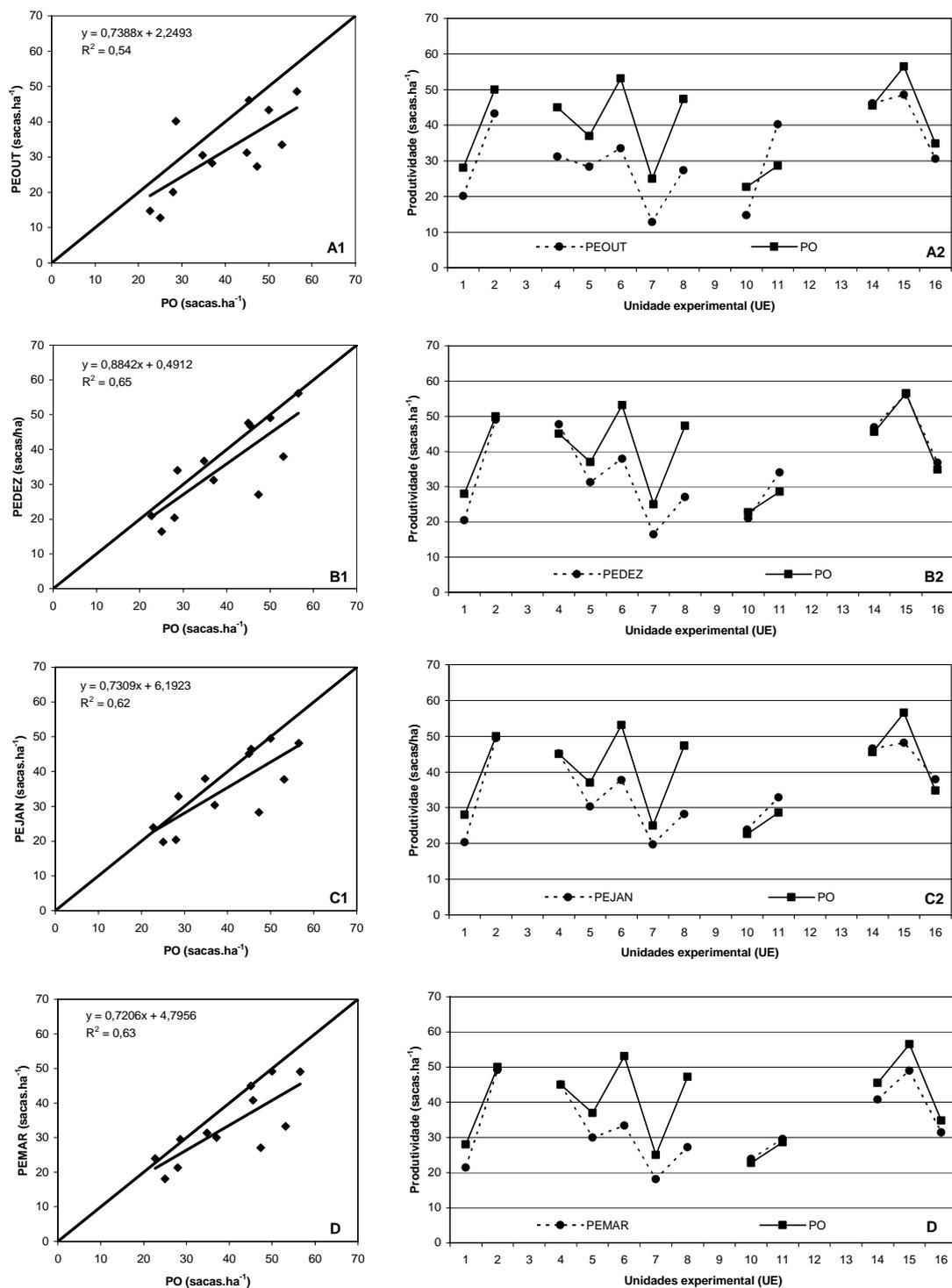


Figura 23 - Produtividades observadas e estimadas (sacas.ha<sup>-1</sup>) pelo modelo fenológico de produtividade utilizando 'IFP1' parametrizado ao nível de talhão para a localidade de Campinas - SP, nas quatro épocas avaliadas outubro (A), dezembro (B), janeiro(C) e março (D), para o ano agrícola de 2005/2006

## Campinas - IFP2

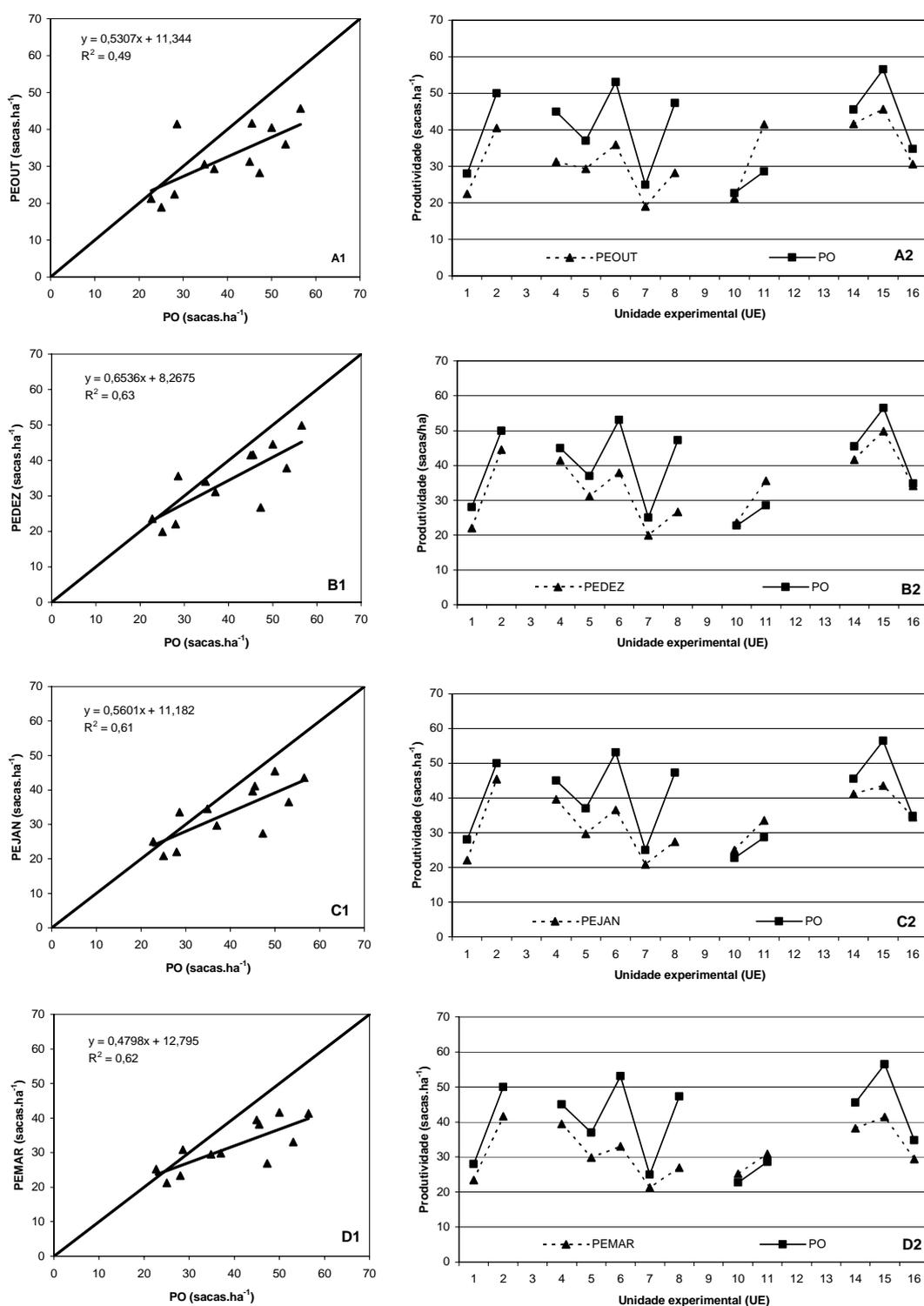


Figura 24 - Produtividades observadas e estimadas ( $\text{sacas.ha}^{-1}$ ) pelo modelo fenológico de produtividade utilizando 'IFP2' parametrizado ao nível de talhão para a localidade de Campinas - SP, nas quatro épocas avaliadas outubro (A), dezembro (B), janeiro (C) e março (D), para o ano agrícola de 2005/2006

### Campinas - Estimativa Visual

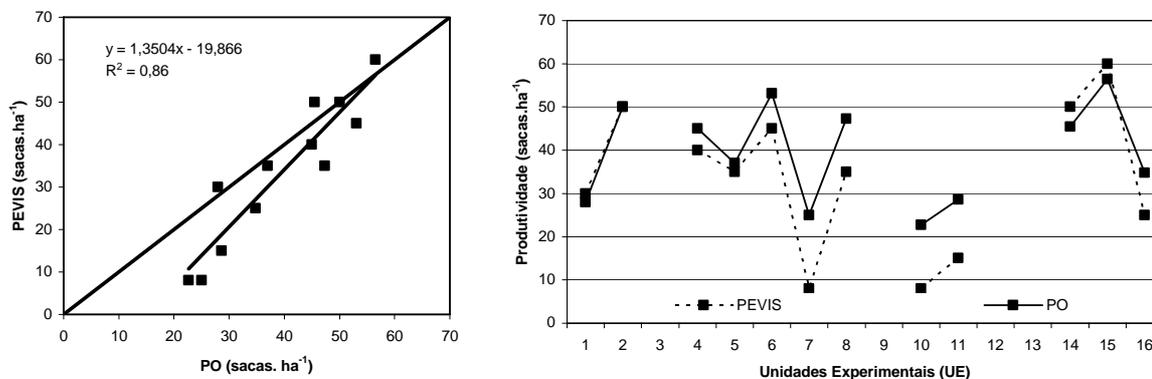


Figura 25 - Produtividades observadas e estimadas (sacas.ha<sup>-1</sup>) pelo método visual, parametrizado ao nível de talhão para a localidade de Campinas - SP no ano agrícola de 2005/2006

Pela comparação entre a 'PO' e as diversas estimativas de produtividade, em relação à reta 1/1, verifica-se que o desempenho dos modelos foi similar, para as diversas épocas estudadas, nas diferentes regiões consideradas neste estudo. Em ambas as localidades os modelos subestimaram as produtividades observadas.

#### 2.3.5 Hierarquia do sistema (I + 2) - Propriedade rural

Devido a complexidade dos fatores a serem considerados, dentro de um sistema para se desenvolver um modelo de previsão de produtividade, outro nível hierárquico foi considerado para o desenvolvimento de um modelo de estimativa antecipada da produtividade do cafeeiro.

##### 2.3.5.1 Produtividade observada X índice fenológico de produtividade 1

De acordo com os melhores resultados encontrados, no nível hierárquico de talhão, foi utilizado somente o 'IFP1' para a realização das regressões com a 'PO'. As regressões foram feitas acrescentando os dados obtidos a cada ano agrícola, conforme representados nas figuras 26, 27, 28 e 29. Somente os meses de dezembro e março foram considerados neste caso, em consequência também dos resultados obtidos ao nível de talhão, os quais mostraram que a partir

do mês de dezembro, os desempenhos dos modelos são bastante semelhantes, sendo que, o conhecimento da fisiologia e da fenologia do cafeeiro nas condições brasileiras determinam estas duas épocas de avaliação como de extrema importância para a realização da estimativa antecipada da produtividade do cafeeiro.

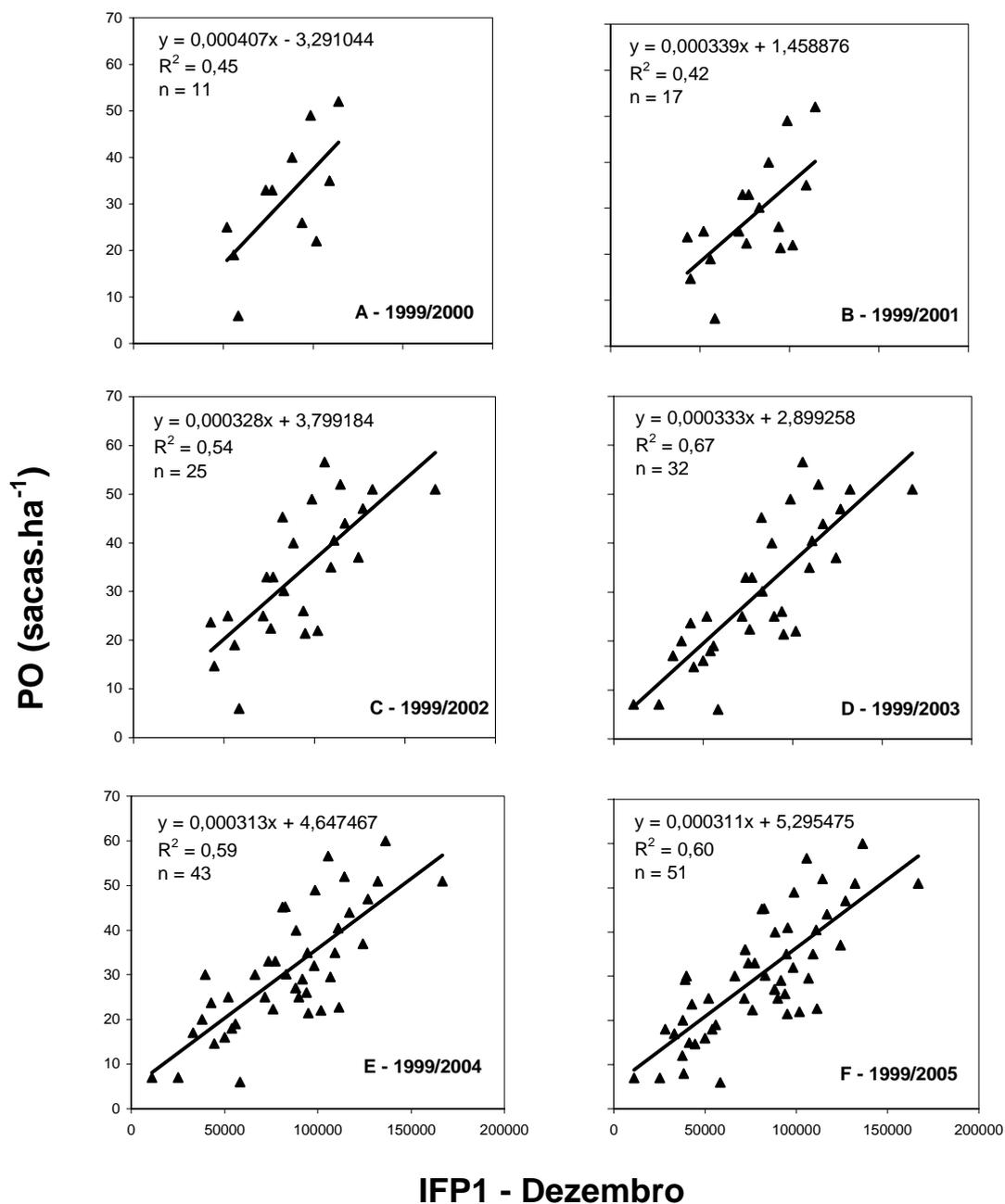


Figura 26 - Relação entre a produtividade observada (PO) e o índice fenológico de produtividade 1 (IFP1) considerando diferentes períodos de anos agrícolas da região de Garça/Marília - SP, avaliadas no mês de dezembro

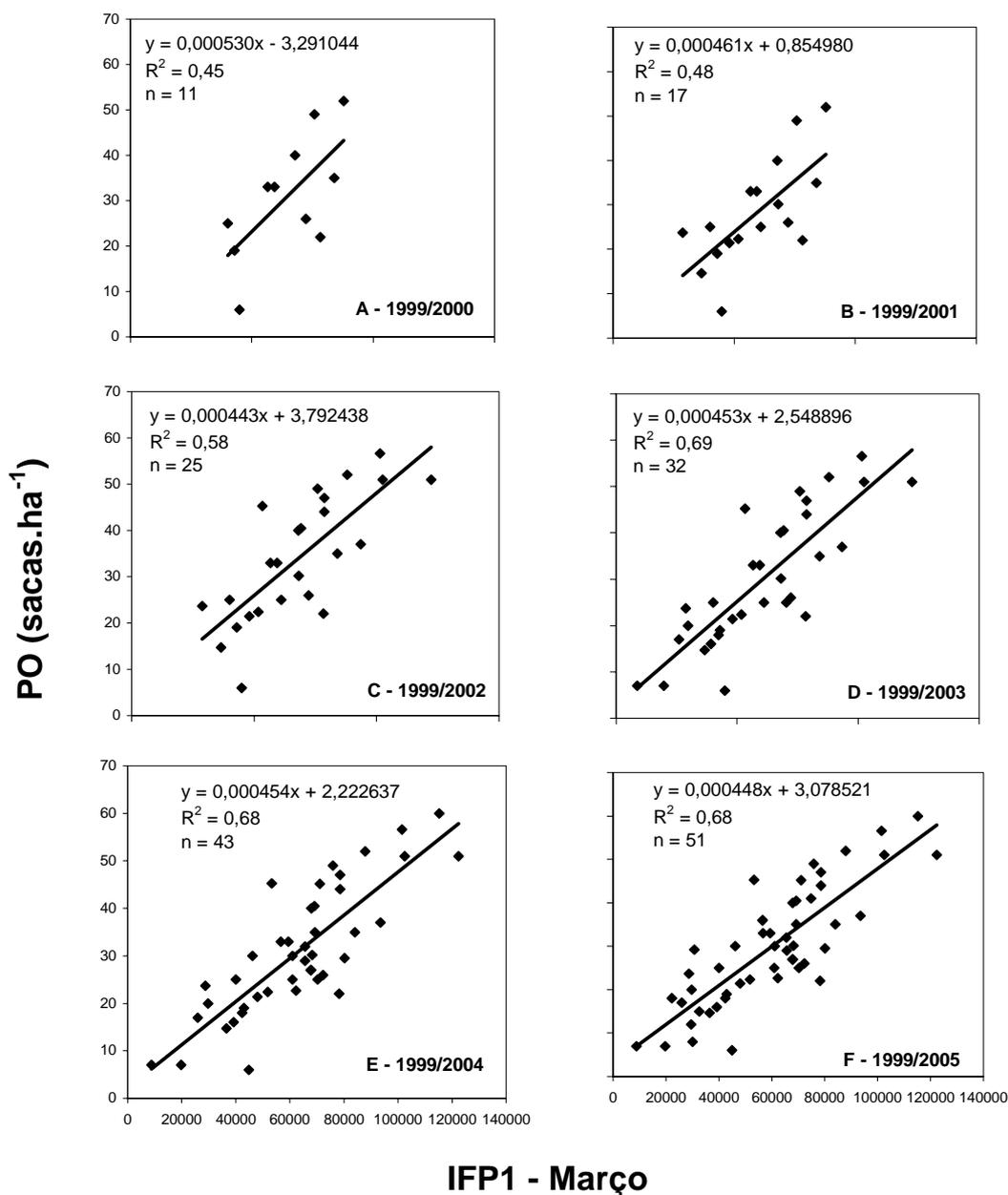


Figura 27 - Regressão entre a produtividade observada (PO) e o índice fenológico de produtividade 1 (IFP1) considerando diferentes períodos de anos agrícolas da região de Garça/Marília - SP, avaliadas no mês de março

Nota-se que as equações obtidas com o acréscimo dos dados a cada ano variam, apresentando uma tendência de melhora no ajuste da reta, com o aumento do número de 'UEs'

consideradas na regressão, até certo ponto, em torno de  $R^2 = 0,68$  valores esses determinados ao nível de talhão, onde o número de anos agrícolas considerados variou de 1 a 6 anos. Outro fato constatado na figura 27, é que a partir da incorporação dos dados do segundo ano agrícola o coeficiente angular da reta diminui bastante a sua variação, variando somente o seu coeficiente linear.

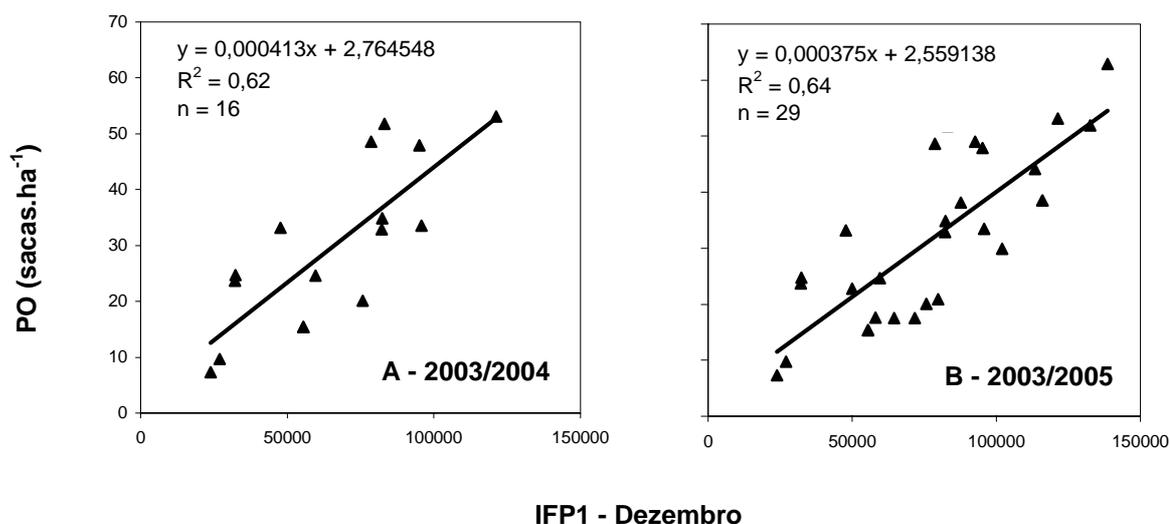


Figura 28 - Regressão entre a produtividade observada (PO) e o índice fenológico de produtividade 1 (IFP1) considerando diferentes períodos de anos agrícolas da região de Campinas - SP, avaliadas no mês de dezembro

Na tabela 11 encontram-se os valores das produções estimadas através dos modelos baseados no 'IFP1' e através da 'EPVIS' juntamente com a 'PO', ao nível hierárquico de propriedade rural. Nota-se que os valores, em porcentagem, variaram de 0,4% a 20% para o mês de dezembro, de 0,5% a 18% para o mês de março e de 3% a 41% para a estimativa visual em relação aos resultados obtidos na produção observada. Os resultados que variaram de acordo com a região avaliada e a quantidade de 'UEs' consideradas para a obtenção de cada equação.

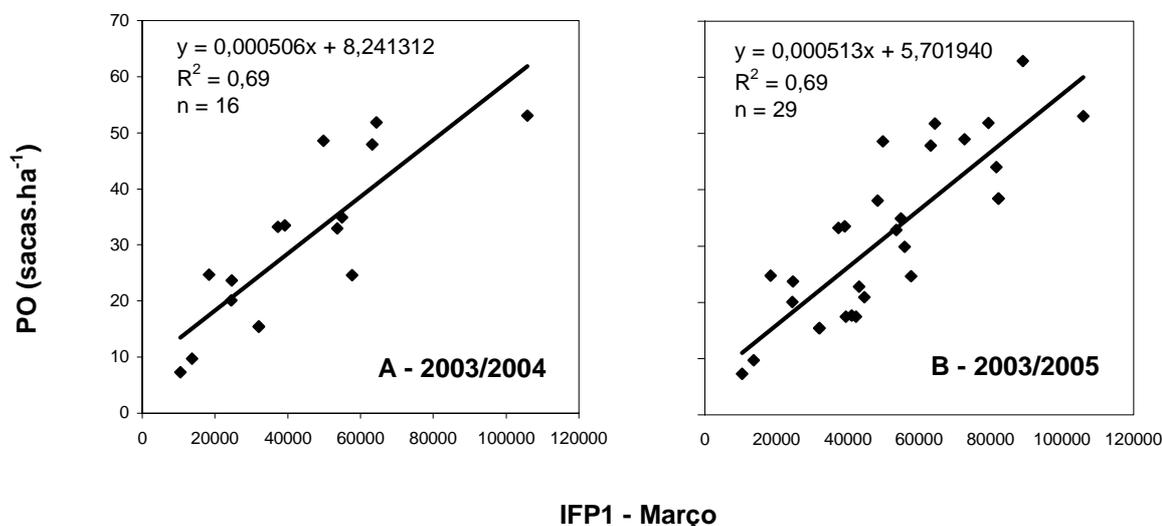


Figura 29 - Regressão entre a produtividade observada (PO) e o índice fenológico de produtividade 1 (IFP1) considerando diferentes períodos de anos agrícolas da região de Campinas - SP, avaliadas no mês de março

Tabela 11 - Resultado da produção estimada, ao nível hierárquico de propriedade rural, através dos modelos baseados no ' IFP1 ' para os meses de dezembro e março pela estimativa visual' juntamente com a produção observada, em sacas de café beneficiado (60 kg) na região de Garça/Marília (GM) e Campinas (CPS)

Localidade	Ano Agrícola	Produção Estimada			Produção Observada
		DEZ	MAR	VISUAL	
sacas - 60 kg					
GM	2000/2001	594	525	482	520
GM	2001/2002	1627	1571	1510	1657
GM	2002/2003	833	889	795	881
GM	2003/2004	1417	1473	1366	1412
GM	2004/2005	722	705	491	836
GM	2005/2006	1967	2071	1914	2082
CPS	2004/2005	3453	3380	3024	2885
CPS	2005/2006	2397	2232	2365	2724

### 2.3.5.2 Testes dos modelos

Das regressões entre 'PO' e o 'IFP1', os modelos resultantes foram testados, conforme descrito no item 2.2.4.5.

Nota-se na tabela 12 que as correlações foram bem elevadas em comparação às apresentadas na tabela 10, obtidos ao nível de talhão, e sendo que também os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) aumentaram substancialmente apresentando para os meses de dezembro e março os valores de  $R^2 = 0,93$  e  $R^2 = 0,92$  respectivamente. De acordo com Santos (2005) o aumento do nível hierárquico estudado, melhora os desempenhos dos modelos para a estimativa e produtividade do cafeeiro.

Tabela 12 - Resultados das análises estatísticas (d,  $R^2$ , EMA, Ea, Es, C) dos testes dos modelos matemáticos fenológicos para o nível hierárquico de propriedade rural

Garça/Marília - Campinas							
Modelo	Mês	d	$R^2$	EMA	Ea	Es	C
				Sacac - 60 kg			
IFP1	DEZ	0,98	0,93	160,17	235,12	52,36	0,95
	MAR	0,98	0,92	161,23	251,89	30,14	0,94
Visual	MAR	0,99	0,97	165,85	153,56	131,98	0,97

Esses resultados também se aproximaram bastante dos observados, quando comparado o índice 'd' de Willmott (1985), quase se igualando com a reta 1:1 conforme ilustrado na figura 30. Os valores apresentados para os referidos meses (dezembro e março) foram de  $d = 0,98$ .

Os elevados valores de ' $R^2$ ' e de 'd' refletem favoravelmente no desempenho dos modelos, representados pelo índice 'C'. Os valores encontrados para este índice foram de  $C = 0,95$  e  $C = 0,94$ , para os meses de dezembro e março respectivamente, valores esses muito semelhantes, com desempenho excelente, de acordo com a escala de avaliação proposta por Camargo e Sentelhas (1997) citado por Santos (2005).

Quando comparados os resultados das estimativas de produção baseadas no 'IFP1' com os resultados obtidos através da estimativa visual, os mesmos foram bastante semelhantes. Os valores encontrados para a estimativa visual dos índices  $R^2 = 0,97$ ,  $d = 0,99$  e  $C = 0,97$  também determinam um excelente desempenho para esta metodologia de estimativa de produção.

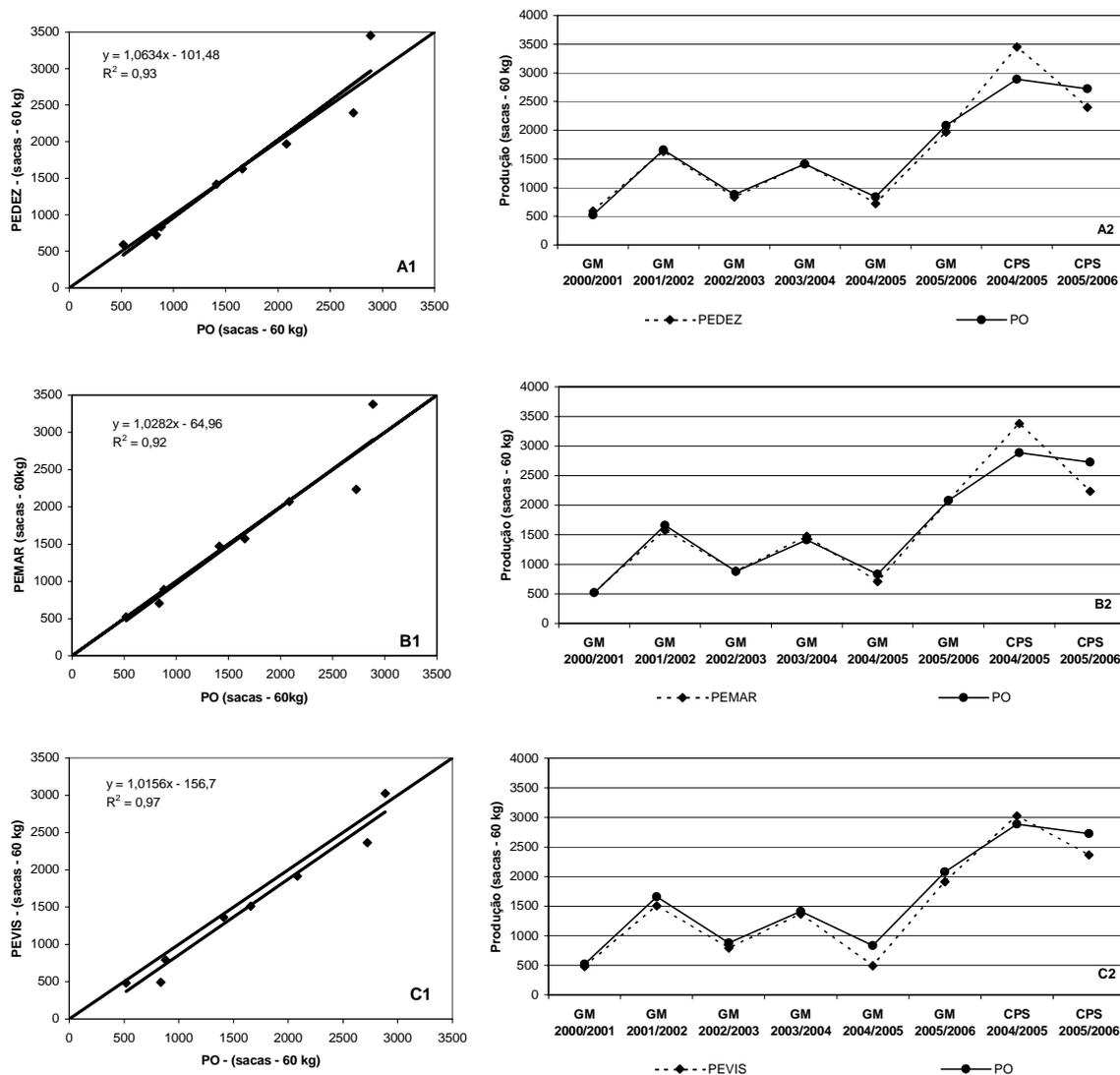


Figura 30 - Produtividades observadas e estimadas (sacs.ha<sup>-1</sup>) pelo modelo fenológico de produtividade utilizando IFP1 nos meses de dezembro (A) e março (B) e pelo método visual (C), parametrizados ao nível hierárquico de propriedade rural para as localidades de Garça/Marília (GM) e Campinas (CPS)

Pode-se destacar a diferença nos valores dos erros sistemáticos e aleatórios dos modelos. Os modelos baseados nos IFP1 apresentaram erros aleatórios maiores,  $E_a = 235,12$  e  $E_a = 251,19$  sacas de 60 kg para os meses de dezembro e março respectivamente, quando comparados com o  $E_a = 153,56$  sacas de 60 kg para a estimativa visual. Estes resultados mostram que embora tenha influências de fatores não controláveis nas avaliações, como nutrição da plantas, precipitação, ataque de pragas ou doenças, outros fatores fitotécnicos, e em relação a avaliação subjetiva que possam ter havido, não afetaram o desempenho desses modelos em comparação com a estimativa visual. Já para o erro sistemático, os valores se invertem, sendo o valor encontrado para a estimativa visual  $E_s = 131,98$  sacas de 60 kg é maior que os valores encontrados para os modelos baseados no 'IFP1'. Indicando que o método proposto pelo 'IFP1' é mais robusto que as estimativas visuais empíricas.

### 3 CONCLUSÃO

- A metodologia desenvolvida neste estudo, apresentou facilidade de aplicação nas diferentes regiões avaliadas, ou seja, em diferentes condições ambientais, culturais e edafoclimáticas do Estado de São Paulo.
- O número de internódios produtivos ‘NIP’, considerado como característica fisiológica de produção, avaliado para determinação do ‘IFP2’ apresentou influência negativa para o desempenho do modelo.
- Foi comprovado que é possível estimar a produtividade utilizando o ‘IFP’ com até seis meses de antecedência (dezembro) da colheita, com a mesma precisão.
- O desempenho apresentado pelos modelos baseados no ‘IFP1’ foi classificado como bom ao nível hierárquico talhão.
- Ao nível hierárquico de talhão, o modelo baseado no ‘IFP1’ apresentou melhor desempenho em relação ao modelo baseado no ‘IFP2’.
- Determinou-se uma relação linear e uma boa correlação entre os ‘IFPs’ e produtividade observada, com resultados a nível hierárquico talhão menores que para o nível hierárquico propriedade rural.
- Os modelos baseados no ‘IFPs’ apresentaram uma tendência de subestimar a produtividade ao nível hierárquico talhão, com desempenhos semelhantes nas duas regiões do Estado de São Paulo avaliadas.
- As variações das estimativas de produtividades baseadas no ‘IFP1’ apresentadas ao nível de propriedade rural foram menores do que a apresentada na ‘EPVIS’, variando de 0,4 a 20% e 0,5 a 18% nos meses de dezembro e março, respectivamente, comparado aos 3% a 41% para a estimativa visual.
- Os modelos baseados no ‘IFP1’ ao nível hierárquico propriedade rural apresentaram desempenho classificado com ótimo.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este foi um estudo, no qual se desenvolveu uma metodologia prática para a estimativa antecipada da produtividade do cafeeiro. Tentou-se mostrar, que é possível, uma pessoa sem uma grande experiência e especialização na cultura de café, estimar sua produtividade somente através da contagem e determinação numérica de algumas características de crescimento e produção da lavoura. Possibilitou a substituição de uma metodologia empírica subjetiva (visual), por uma metodologia quantitativa com embasamento científico para se estudar a produção da lavoura de café.

Este modelo serve como mais uma ferramenta disponível para estimativas de produtividade, para produtores e principalmente para as cooperativas e aos órgãos estaduais e federais responsáveis por previsões de produção ao nível de propriedade regional e nacional.

Recomenda-se obter os 'IFP' anualmente em cada propriedade rural, sendo incorporado os dados a cada ano agrícola, na obtenção das equações para estimativa de produtividade. O modelo passa a ser dinâmico, ajustando-se melhor com o maior número de anos avaliados.

## REFERÊNCIAS

ACOCK, B.; ACOCK, M.C. Potential for using long-term field research data to develop and validate crop simulators. **Agronomy Journal**, Madison, v.83, p. 56-61, 1991.

ALEGRE, G. Climats et caféiers d'Arabie. **Agronomie Tropicale**, Paris, v.14, n.1, p.23-58, 1959.

ALFONSI, E.L.; FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; FAZUOLI, L.C. Crescimento, fotossíntese e composição mineral em genótipos de Coffea com potencial para utilização como porta-enxerto. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.1, p.1-13, 2005.

ALFONSI, R.R.; PEDRO JUNIOR, M.J.; ARRUDA, F.B.; ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M.B.P.; BRUNINI, O. **Métodos agrometeorológicos para o controle da irrigação**. Campinas: Instituto Agronômico, 1990. 62p. (Boletim Técnico, 133).

BARROS, I. **Produção das variedades Caturra e Mundo Novo de café em função do espaçamento, número de plantas por cova e condução das plantas**. 1997. 82p. Dissertação (Mestrado na área de Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Periodicidade de crescimento em café. **Revista Ceres**, Viçosa, v.19, n.106, p.424-448, 1972.

BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Floração do café - Uma revisão. **Revista Ceres**, Viçosa, v.25, n.141, p.467-479, 1978.

BARROS, R.S.; MAESTRI, M.; MOREIRA, R.C. Sources of assimilates for expanding flower buds of coffee. **Turrialba**, San José, v.32, n.4, p.371-377, 1982.

BEAUMONT, J.H. An analysis of growth and yield relationships of coffeetrees in the Kona district, Hawaii. **Journal Agricultural Research**, Washington, v.59, n.3, p. 223-235, 1939.

BEM MECHILA, N.; CARROL, J.J. Agroclimatic modeling for simulation of phenology, yield and quality of crop production. I. Citrus response formulation. **International Journal of Biometeorology**, v. 33, p. 36-51, 1989.

BOYER, J. Étude experimenttale des effets du régime d'humidité du sol la croissance végétative, la floraison et la frutification du caféier Robusta. **Café, Cacao, Thé**, Paris, v.13, p.187-200, 1969.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Coordenação Nacional do Zoneamento Agrícola. **Zoneamento Climático do Café (*Coffea arabica*) para os Estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Goiás e Sudoeste da Bahia**. Brasília: EMBRAPA - FUNCAFÉ, 2001. 94p. (Relatório final).

BROWING, G.; DORWARD, A. A survey methodology for assessing yield potential and coffee berry losses in peasant coffee. **Experimental Agriculture**, London, v.25, p.235-242, 1989.

BULL, R.A. Studies on the effect of mulch and irrigation on root and stem development in *Coffea arabica* L. I. changes in root system induced by mulching and irrigation. **Turrialba**, San Jose, v.13, p.96-115, 1963.

CAMARGO, A.P. Florescimento e frutificação de café arabica nas diferentes regiões (cafeeiras) do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.7, p.831-839. 1985.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.1, p.65-68. 2001.

CAMARGO, M.B.P.; CAMARGO, A.P. Representação gráfica informatizada do extrato do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather. **Bragantia**, Campinas, v.52, n.2, p.169-172, 1993.

CAMARGO, M.B.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1. p. 89-97, 1997.

CAMARGO, M.B.P.; PEDRO JUNIOR, M.J., ORTOLANI, A.A.; ALFONSI, R.R.; PINTO H.S. Relações entre a precipitação pluviométrica e a produtividade do cafeeiro. **Ecosistema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, p. 166-171, 1984.

CAMARGO, M.B.P.; SANTOS, M.A.; BRUNINI, O.; FAHL, J.I.; MEIRELIS, E.J.L.; BARDIN, L. Teste de modelo agrometeorológico de monitoramento e de estimativa de produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4, 2005, Londrina - PR. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2005. 1 CD-ROM.

CAMARGO, M.B.P.; SANTOS, M.A.; PEDRO JUNIOR, M.J.; FAHL, J.I.; BRUNINI, O.; MEIRELIS, E.J.L.; BARDIN, L. Modelo agrometeorológico de monitoramento e de estimativa de quebra de produtividade como subsídio à previsão de safra de café (*Coffea arabica* L.): resultados preliminares. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3, 2003, Porto Seguro - BA. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2003. p. 75.

CANNELL, M.G.R. Production and distribution of dry matter in trees of *Coffea arabica* L. in Kenya as affected by seasonal climatic differences and the presence of fruits. **Annals of Applied Biology**, London, v.67, p.99-120, 1971.

CANNELL, M.G.R.. Effects of irrigation, mulch and N-fertilizers on yield components of arabica coffee in Kenya. **Experimental Agriculture**, London, v.9, p.225-232, 1973.

CANNELL, M.G.R. Crop physiological aspects of coffee bean yield: a review. **Journal of Coffee Research**, Balehonnur, v.5, p.7-20, 1975.

CANNELL, M.G.R.; HUXLEY, P.A. Seasonal differences in the pattern of assimilate movement in branches of *Coffea arabica* L. **Annals of Applied Biology**, London, v.64, p.345-357, 1969.

CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I.; MAGALHÃES, A.C. Assimilação de nitrato durante o desenvolvimento reprodutivo de plantas de café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.59-64, 1989.

CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I.; ALFONSI, E.L.; MAGOSSO, R.; PEZZOPANE, J.R.M.; RAMALHO, J.D.C. Trocas gasosas fotossintéticas e densidade de fluxo de seiva em plantas de *Coffea arabica* cv. Obatã cultivadas em diversos regimes de irradiância. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 8, 2001. Ilhéus - **Anais...** Viçosa: Agromídia, 2001. 1 CD-ROM.

CARVALHO, L.G.; SEDIYAMA, G.C.; CECON, P.R.; ALVES, H.M.R. Avaliação de um modelo agrometeorológico para a previsão de produtividade de café em três localidades da região sul de Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.2, p.343-352, 2003.

CARVALHO, A.; KRUG, C.A.; MENDES, J.E.T. O dimorfismo dos ramos dos ramos em *Coffea arabica* L. **Bragantia**, Campinas, v.10, p.151-159, 1950.

COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br>>. Acesso em 17 dez.2007.

CONFALONE, A.; DUJMOVICH, M.N. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 183-187, 1999.

COSTA, L.C. Modelagem e simulação em agrometeorologia para se estabelecer um programa amplo de reorganização da cafeicultura In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1997, Piracicaba-SP. **Suplemento dos anais; mesas-redondas**. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 3-6.

DA MATTA, F.M. da. Mecanismos fisiológicos associados ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas. In: FERNANDES, M.F.; TAVARES, E.D.; LEAL, M. de L. da S. (Ed). **Workshop sobre sistema radicular: metodologias e estudos de casos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiro Costeiros, 1999. p.19-45.

FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.M.; COSTA, W.M.; NOVO, M.C.S.S. Enxertia de *Coffea arabica* sobre progênies de *C. canephora* e de *C. congensis* no crescimento, nutrição mineral e produção. **Bragantia**, Campinas, v.57, n.2, p.297-312, 1998.

FAHL, J.I.; CAMARGO, M.B.P.; ALFONSI, E.L.; SANTOS, M.A. Efeito das condições climáticas sobre a bienlidade da produtividade do café arabica na região de Mococa-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12, 2001, Fortaleza - CE. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001, v.1, p.155-156.

FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; ALFONSI, E.L.; CAMARGO, M.B.P. Avaliação de índices fisiológicos de produção para utilização em modelos de previsão de safra de café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3, 2003, Porto Seguro - BA. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2003. p. 60.

FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; ALFONSI, E.L.; CAMARGO, M.B.P. Desenvolvimento e aplicação de metodologia para estimativa da produtividade do cafeeiro, utilizando as características fenológicas determinantes do crescimento e produção em duas épocas de avaliação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 31, 2005, Guarapari - ES. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2005. p.339.

FANCELLI, A.I.; DOURADO-NETO, D. Ecofisiologia e fenologia do feijoeiro. In: FANCELLI, A.I.; DOURADO-NETO, D. (Ed.). **Tecnologia da Produção do Feijão Irrigado 2**, Piracicaba: Publique, 1997. p.1-20.

FRANCO, C.M. Fotoper iodismo em cafeeiro (*C. arabica*). **Revista Instituto Café**, São Paulo. v.15. n.164, p.1586-1592, 1940.

FRANCO, C.M. **Influência da temperatura no crescimento do cafeeiro**. New York: IBEC Research Institute, 1958. n.16. 27p

FREDERICO; D.; MAESTRI, M.. Ciclo de crescimento dos botões florais do café (*Coffea arabica* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 17, p. 171-181, 1970.

GARCIA, A.W.; MATIELLO, J.B.; JAPIASSÚ, L.B.; FERREIRA, R.A. Crescimento em cafeeiros, avaliado na Fazenda Experimental de Varginha, e correlação com a produtividade/produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 29, 2003, Araxá - MG. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2003. p.4-5.

GOMEZ-GOMEZ, L. Influência de los factores climáticos sobr la peridicidad de crecimiento del cafeto. **Cenicafé**, Chinchina, v.28, n.1, p.3-17, 1977.

GOUVEIA, N.M. **Estudo da diferenciação e crescimento das gemas florais de *Coffea arabica* L.: observações sobre a antese e maturação dos frutos**. 1984. 237p. Dissertação (Mestrado na área de Botânica) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1984.

HUXLEY, P.A.; ISMAIL, A.H. Floral atrophy and fruit set in arabica coffee in kenya. **Turrialba**, San Jose, v.19, n.3, p.345-354, 1969.

HUXLEY, P.A.; PATEL, R.Z.; KABAARA, A.M.; MITCHELL, H.W. Tracer studies with <sup>32</sup>P on the distribution of functional roots of arabica coffee in Kenya. **Annals of Applied Biology**, Cambridge, v.77, p.159-180, 1974.

JANARDHAN, K.V.; GOPAL, N.H.; RAMAIAH, P.K. Carbohydrate reserves in relation to vegetative growth, flower bud fomation and crop levels in arabica coffee. **Indian Coffee**, Bangalore, v.35, p.145-148. 1971.

LIU, W.T.H.; LIU, B.W.Y. Comparação de três modelos de previsão da safra de café no Estado de Minas Gerais. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 40, n. 8, p.801-807, 1988.

MAESTRI, M.; BARROS, R.S. Ecophysiology of arabica coffee. In: ALVIM, P. de T. **Ecophysiology of tropical crops**. Manaus: CEPLAC, 1975. p.1-36, v.2.

MAGALHÃES, A.C.; ANGELOCCI, L.R. Sudden alterations in water balance associated with flower bud opening in coffee plants. **Journal of Horticultural Science**, Littlehampton, West Sussex, UK, v.51, p.419-423. 1976.

MAZZAFERA, P.; GUERREIRO FILHO, O. **A Produtividade do Cafeeiro**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1991. 21p. (Documentos, IAC 24).

MEIRELES, E.J.L.; CAMARGO, M.B.P.; FAHL, J.I.; THOMAZIELLO, R.A.; PEZZOPANE, J.R.M.; NACIF, A.P.; BARDIN, L. **Fenologia do cafeeiro: Condições Agrometeorológicas e Balanço Hídrico - Ano Agrícola 2002-2003**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2004. 43p. (Documentos, 2).

MES, M.G. **Estudo sobre o florescimento de *Coffea arabica* L.** New York: IBEC Reasearch Institute, 1957. 48 p.

PEZZOPANE, J.R.M. **Avaliações microclimáticas, fenológicas e agronômicas em café arabica cultivado a pleno sol e consorciado com banana 'Prata Anã'**. 2004. 136p. Tese (Doutorado na área de Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JUNIOR, M.J.; THOMAZIELLO, R.A.; CAMARGO, M.B.P. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeiro arabica. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.3, p.499-505, 2003.

PICINI, A.G.; CAMARGO, M.B.P., ORTOLANI, A. A.; FAZUOLI, L.C.; GALLO, P.B. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n.1,p. 157-170, 1999.

PIMENTA, C.J. **Qualidade de café**. Lavras: Editora UFLA, 2003. 304p.

PIRINGER, A.A.; BOTHWICK, H.A. Photoperiodic responses of coffee. **Turrialba**, San Jose, v. 5, n. 3, p.72-77, 1955.

PULGARIN, J.A.; CORDOBA, B.C. **Aplicacion y validacion de una metodologia para estimar anticipadamente la produccion cafetera. Centro Nacional de Investigaciones de Café.** Chinchiná: CENICAFE, p. 37, março 1992. (Relatório).

RAMAIAH, P.K.; GOPAL, N.H. Effects of temperature and light on arabica coffee. **Indian Coffee**, Bangalore, v.33, p.254-259,263, 1969.

REIS, A.S. **Zoneamento agroclimático para cafeicultura em Pernambuco.** Recife, IPA, 1972. 24p. (Boletim técnico, 52).

RENA, A.B.; GUIMARÃES, P.T.G. **Sistema radicular do cafeeiro:** estrutura, distribuição, atividade e fatores que influenciam. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 80p. (Séries Documentos, 37).

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do Cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do cafeeiro:** fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafós, 1986. p.13-85.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do Cafeeiro. In: CASTRO, P.R.C; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola.** Piracicaba: Potafós, 1987. p.119-147.

ROBERTSON, G.W. **Guidelines on crop-weather models.** Geneve: World Meteorological Organization, 1983. 115p. (World Climate Application Programme, 50).

SALISBURY, F.B. **Photoperiodism.** Horticultural Reviews, New York., v.4, p. 66-105, 1982.

SANTOS, M. A.: **Parametrização de coeficientes de sensibilidade e teste de modelos agrometeorológicos de estimativa de quebra de produtividade do cafeeiro (*Coffea Arabica* L.).** 2005. 138 p. Dissertação (Mestrado na área de Tecnologia da Produção Agrícola) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2005.

SANTOS, M.A.; CAMARGO, M.B.P.; FAHL, J.I.; PEDRO JUNIOR, M.J.; FAZUOLI, L.C.; LORENA, B. Parametrização de modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para diferentes escalas: planta, talhão, propriedade e município. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4, 2005, Londrina **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2005. 1 CD-ROM.

SCHATTAN, S. Pesquisa de um método objetivo para a previsão da Produção de café. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v.11, n.3/4, p. 1-43, 1964.

SEGURA-MONGE, A. Algunas consideraciones agrofisiológicas em relación a la poda de los cafetos: experiencia com cafetles com alta densidad de siembra. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1, 1994. Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1994. p.199-220.

SILVA, H. LAINS. Contribuição para o estudo das causas de variação anual de produção de café. **Revista do Café Português**, Lisboa, V.3, n. 10, p. 13-28, 1956.

THOMAZIELLO, R.A.; FAZUOLI, L.C.; PEZZOPANE, J.R.M.; FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C. **Café Arábica: Cultura e Técnicas de Produção**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2000. 82p. (Boletim técnico, IAC, 187).

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton,: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, (Publications in Climatology), v.8, n.1, 1955, 104p.

TOSELO, R.N.; ARRUDA, H.V. Correlação entre estimativas oficiais de produção de café e precipitação pluviométrica, no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 21, p. 449-465, 1962.

TROJER, H. **La investigacion agroclimatológica para el cultivo del café em Colombia**. CENICAFÉ, Chinchina, v.7, n.75, p.78-101, 1956 (Boletín Informativo).

WILLMOTT , C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, J.J.; FEDDEMA, K.M.; KLINK, D.R. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal Geography Research**, Washington, v. 90, p. 8995-9005, 1985.

WORNER, T.M.; GITUANJA, J. Seasonal pateterns of growth and development of Arabica coffee in Kenya. Part II. Flower initiation and differentiation in coffee east of Rift Valley. **Kenya Coffee**, Nairobi, v.35, p.270-277, 1970.

# 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](#)