

EXIGÊNCIA TÉRMICA DO CAFÉ ARÁBICA CV. MUNDO NOVO NO SUBPERÍODO FLORESCIMENTO-COLHEITA

Heat requirements of Mundo Novo coffee for the flowering-harvest phenological stage

José Ricardo Macedo Pezzopane¹, Mário José Pedro Júnior²,
Marcelo Bento Paes de Camargo², Luiz Carlos Fazuoli³

RESUMO

Foram determinados para o café arábica cv. Mundo Novo, a temperatura base inferior e a soma térmica, expressa em graus-dia, além do acúmulo de evapotranspiração de referência (ET_o) e real (ET_r), para o subperíodo florescimento-colheita, utilizando-se dados fenológicos de cultivos dos anos de 1971 a 2004. Foi proposto ainda um fator de correção para o cálculo de graus-dia em função da disponibilidade hídrica nos oito primeiros decêndios após o florescimento. Os valores de temperatura-base e soma térmica obtidos foram de 10,2°C e 2887 graus-dia e 10,5°C e 2761 graus-dia, quando determinados sem e com correção pelo fator hídrico, respectivamente. O acúmulo médio de ET_o para o subperíodo do florescimento à colheita foi de 761mm e para ET_r 689 mm; quando se levou em consideração o acúmulo de ET_r apenas no início do desenvolvimento dos frutos (oito primeiros decêndios), o valor médio foi de 721mm. A utilização de métodos que levaram em consideração a influência da disponibilidade hídrica melhorou a estimativa da temperatura base e a soma térmica no subperíodo do florescimento à colheita do cafeeiro Mundo Novo.

Termos para indexação: Graus-dia, fenologia, *Coffea arabica*, evapotranspiração.

ABSTRACT

Base temperature and heat requirement, using degree-days were evaluated for coffee cv. Mundo Novo. The sum of reference (ET_o) and actual (ET_r) evapotranspiration were also determined for the flowering-harvest phenological stage, using coffee phenological data for the growing season from 1971 to 2004. A correction factor was proposed for the degree-days sum related to available water on the first eighty days during the beginning of flowering. The obtained values of base temperature and degree-days requirements were, respectively, 10.2°C and 2887 degree-days and 10.5°C and 2761 degree-days when evaluated with and without adjustment for water deficit. The mean value for ET_o sum was 761 mm, and for ET_r, 689 mm. When considered the sum of ET_r during the development of the berries (first 80 days after flowering) was considered the mean values were 721 mm. The correction factor for water deficit improved the determination of base temperature and heat sum for the flowering-harvest stage for Mundo Novo coffee plants.

Index terms: Degree-days, phenology, *Coffea arabica*, evapotranspiration.

(Recebido em 8 de novembro de 2007 e aprovado em 1 de julho de 2008)

INTRODUÇÃO

A fenologia pode ser definida como o estudo dos eventos periódicos da vida da planta em função da sua reação às condições do ambiente. O ciclo fenológico dos cafeeiros da espécie *Coffea arabica* L. apresenta uma sucessão de fases vegetativas e reprodutivas que ocorrem em aproximadamente dois anos, diferentemente da maioria das plantas que emitem as inflorescências na primavera e frutificam no mesmo ano fenológico (CAMARGO, 1985).

No primeiro ano fenológico, formam-se os ramos vegetativos, com gemas axilares nos nós, que depois são induzidas a se transformarem em gemas reprodutivas (GOUVEIA, 1984). Posteriormente, essas gemas florais amadurecem, entram em dormência e tornam-se aptas para

a antese, causada principalmente pela chuva ou pela irrigação (CAMARGO, 1985). O segundo ano fenológico inicia-se com a florada, seguida pela formação dos chumbinhos e expansão dos grãos, até seu tamanho normal. Depois, ocorre a granação dos frutos e a fase de maturação (CAMARGO & CAMARGO, 2001). Pezzopane et al. (2003) apresentam uma escala detalhada do ciclo fenológico do cafeeiro arábica, principalmente para as fases reprodutivas.

Trabalhos realizados em Campinas (GOUVEIA, 1984; SONDAHL & SHARP, 1979) e em Chinchiná, Colômbia (GOMEZ-GOMEZ, 1977) estabelecem que os frutos do cafeeiro arábica amadurecem por volta da 32.^a semana após a antese. Apesar dessa constatação, o tempo necessário para a completa maturação é influenciado por condições

¹Engenheiro Agrônomo, Doutor – Departamento de Ciência da Saúde, Biológicas e Agrárias/DCSBA – Universidade Federal do Espírito Santo/UFES – Rua Humberto de Almeida Franklin, 257 – Universitário – 29933-415 – São Mateus, ES – josepezzopane@ceunes.ufes.br

²Engenheiros Agrônomos, Doutores – Centro de Ecofisiologia e Biofísica/CEB – Instituto Agrônomo de Campinas/IAC – Avenida Barão de Itapura, 1481 – Cx. P. 28 – 13012-970 – Campinas, SP – mpedro@iac.sp.gov.br; mcamargo@iac.sp.gov.br – Bolsistas CNPq.

³Engenheiro Agrônomo, Doutor – Centro de Café “Alcides Carvalho” – Instituto Agrônomo de Campinas/IAC – Avenida Barão de Itapura, 1481 – Cx. P. 28 – 13012-970 – Campinas, SP – fazuoli@iac.sp.gov.br – Bolsista CNPq.

climáticas (KUMAR, 1979) e pela constituição genética do cafeeiro (SONDAHL & SHARP, 1979).

Na cafeicultura, o conhecimento dos efeitos dos elementos climáticos no desenvolvimento fenológico da cultura tem grande aplicação nas práticas de manejo (PEZZOPANE et al., 2003). Dentre os elementos climáticos, destaca-se a temperatura do ar, que atua na duração do ciclo reprodutivo, condicionando a época de colheita.

O conceito de graus-dia assume a existência de uma temperatura basal abaixo da qual o crescimento vegetal pode ser desconsiderado. Cada grau acima da temperatura base corresponde a um grau-dia. Cada espécie vegetal possui uma temperatura-base para diferentes fases fenológicas ou pode se adotar um valor único para todo o ciclo da cultura.

Para a cultura do café, alguns estudos (CAMARGO & CAMARGO, 2001; CARAMORI et al., 2007; ORTOLANI et al., 2001) têm utilizado a técnica de graus-dia para determinar fases de crescimento, desenvolvimento de gemas e maturação dos frutos do cafeeiro.

Assim, a caracterização das exigências térmicas do cafeeiro, com o uso do conceito de graus-dia pode ser uma importante ferramenta para avaliar a duração do ciclo produtivo, produtividade da cultura e os aspectos relacionados à qualidade de bebida. Outra utilização da técnica dos graus-dia para a cultura do café pode ser a identificação de cultivares com diferentes exigências térmicas em programas de melhoramento.

Objetivou-se, neste trabalho, determinar a temperatura-base e as necessidades térmicas do café, cv. Mundo Novo, além de verificar-se o potencial de outros índices agrometeorológicos, na predição do período compreendido entre o florescimento e a colheita do cafeeiro.

MATERIALE MÉTODOS

Os dados fenológicos de café (*Coffea arabica* L.) cv. Mundo Novo, utilizados no presente estudo foram obtidos de experimentos realizados no Centro Experimental Central do Instituto Agrônomo, localizado no município de Campinas, São Paulo (Lat.: 22°54' S; Long.: 47°05' W e altitude de 669m.), que possui um clima tipo Cwa (tropical de altitude com inverno seco), conforme a classificação de Köppen.

Foram selecionados ciclos do período de florescimento até a colheita obtidos com dados do programa de melhoramento de café do Instituto Agrônomo de Campinas de 1971 a 2004, em um total de 14 ciclos. Para desconsiderar o efeito de várias colheitas realizadas nos experimentos, a data de colheita foi obtida com o uso da média ponderada dos frutos colhidos nas diferentes colheitas realizadas no ano.

Deve-se salientar que, em se tratando de experimentos que possuíam como objetivo a produção de sementes do programa de melhoramento, as colheitas eram realizadas quando os frutos estavam no estágio cereja, considerado aquele em que os frutos estão em sua maturação plena.

Foram determinadas a temperatura basal inferior e as exigências térmicas para o período compreendido entre o florescimento e a colheita do cafeeiro, levando-se em consideração os diferentes parâmetros climáticos graus-dia e graus-dia corrigido, avaliados independentemente. Além da utilização do método de graus-dia, a exigência térmica também foi determinada pelo acúmulo da evapotranspiração potencial, evapotranspiração real e combinação desses dois últimos, obtidos a partir do balanço hídrico seqüencial decendial (THORTHWAITE & MATHER, 1955).

A evapotranspiração por ser uma grandeza de estimativa de consumo hídrico pelas plantas, no balanço hídrico seqüencial, foi determinada a partir do método proposto por Thornthwaite em 1948. Além disso foi utilizada como soma térmica para o cafeeiro, similar ao conceito dos graus-dia.

O cálculo da soma térmica (Graus-dia), foi feito com base em:

$$GD = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_b \right) \quad (1)$$

em que:

(GD) é o total de graus-dia acumulado; (T max) é a temperatura do ar máxima diária(°C); (Tmin) é a temperatura do ar mínima diária (°C); (Tb) é a temperatura-base (°C) e (n) é o número de dias do período compreendido entre o florescimento e a colheita.

O conceito original de graus-dia assume a existência de relação linear entre desenvolvimento da cultura e temperatura, não se considerando o efeito de outros fatores ambientais sobre o crescimento e desenvolvimento vegetal. Para o cafeeiro, o desenvolvimento inicial da frutificação pode ser retardado em função de ocorrência de deficiência hídrica (RENA & MAESTRI, 1985).

Para os graus-dia corrigidos levou-se em consideração que a ocorrência de deficiência hídrica afeta o desenvolvimento inicial dos frutos de café, sendo definido um fator de correção para a disponibilidade de água no solo no início do desenvolvimento dos chumbinhos e expansão dos frutos (até o oitavo decêndio após o florescimento).

Com o uso de regressão linear, na qual a duração do subperíodo é compreendida do florescimento à colheita

(NUM) foi a variável dependente e a razão da evapotranspiração real e a de referência (Etr/Eto), obtidas através do balanço hídrico seqüencial decendial, nos oito primeiros decêndios, a variável independente, obteve-se uma função do tipo:

$$NUM = a + b(Etr / Eto) \quad (2)$$

O fator de correção dos graus-dia para a disponibilidade hídrica (FH) no solo foi calculado com o uso da seguinte equação, proposta por Massignam & Angelocci (1993):

$$FH = \frac{NH}{NUM} \quad (3)$$

onde: (NH) é a duração da fase que ocorreria se não houvesse deficiência hídrica e (N) é a duração da fase estimada através da equação de regressão.

Portanto, os graus-dia corrigidos (GD_{corr}) para os decêndios iniciais de desenvolvimento em que ocorreram deficiências hídricas, foram calculados pela seguinte equação:

$$GD_{corr} = GD * FH \quad (4)$$

A determinação da temperatura-base foi feita utilizando-se os métodos da menor variabilidade, proposto por Arnold (1959), que utiliza a seguinte expressão:

$$Sd = Sdd / (Xt - Tb) \quad (5)$$

em que:

(Sd) é o desvio-padrão em dia; (Sdd) o desvio-padrão; (Xt) é a temperatura média para toda a série de dados e (Tb) é a temperatura-base. O valor de (Tb) obtido foi aquele que minimizou o valor de (Sd). Foram obtidos valores de (Tb) para o método de cálculo de graus-dia com e sem correção pelo fator hídrico.

Os parâmetros evapotranspiração de referência (ETo) e evapotranspiração real (ETr), resultantes do balanço hídrico climatológico (THORNTHWAITE & MATHER, 1955) com base decendial, e capacidade máxima de armazenamento (CAD) de 100 mm, foram acumulados na fase compreendida entre a floração e a colheita.

As exigências térmicas foram determinadas ainda por um critério que levou em consideração o acúmulo de evapotranspiração real nos oito primeiros decêndios após a floração e acúmulo de evapotranspiração de referência, do nono decêndio até a colheita. Esse procedimento foi adotado, de maneira similar ao cálculo de graus-dia

corrigido, para corrigir a influência de períodos com deficiência hídrica no desenvolvimento inicial dos frutos do cafeeiro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinação do fator hídrico (FH)

Nos 14 cultivos analisados, a duração do período florescimento-colheita para a cultivar de café Mundo Novo variou de 202 a 250 dias com média de 221 dias. Esses números estão de acordo com os obtidos por Sondahl & Sharp (1979), para o amadurecimento de frutos de cafeeiro arábica.

Na Figura 1 é apresentada a relação entre a duração do ciclo e a razão Etr/Eto nos oito primeiros decêndios após a floração. Pode se verificar que, em cultivos onde a razão Etr/Eto nos oito primeiros decêndios apresentou menores valores, ocorreu um aumento da duração do subperíodo florescimento-colheita.

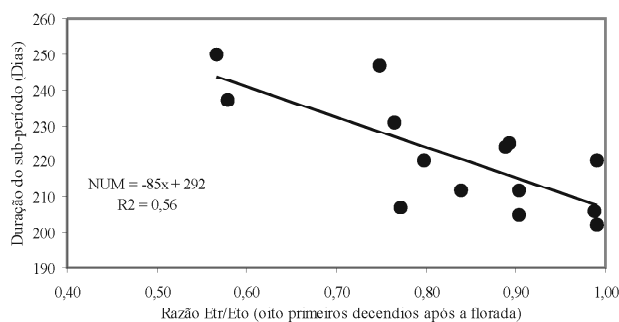


Figura 1 – Relação entre a razão Etr/Eto nos primeiros decêndios após a florada e a duração do período florescimento-colheita em café, cv. Mundo Novo em Campinas, SP.

A partir da equação apresentada na Figura 1 foi determinada a equação do fator hídrico para correção da duração do subperíodo florescimento-colheita.

No início da frutificação e expansão, a ocorrência de períodos de deficiência pode afetar o desenvolvimento dos frutos do cafeeiro (RENA & MAESTRI, 1985). Para a cultura do girassol, Massignam & Angelocci (1993) também verificaram o efeito da disponibilidade hídrica na duração de fases fenológicas da cultura.

Os cultivos dos anos agrícolas de 1999/2000 e 2003/2004 apresentaram as menores razões de Etr/Eto (0,58 e 0,57, respectivamente). Nesses cultivos, a duração da fase florescimento-colheita foi maior que 237 dias. No ano de 1989/1990, embora a razão Etr/Eto nos oito primeiros

decêndios tenha sido mais elevada que nos dois casos anteriores, a duração da fase florescimento colheita foi de 247 dias. Nesse ano, a temperatura média do cultivo foi a menor de todo o conjunto de dados experimentais, evidenciando o efeito da temperatura na maturação do cafeeiro.

Utilizando-se a equação apresentada na Figura 1, obtida a partir das descrições das equações 3 e 4, foram calculados os valores de penalização devido ao fator hídrico (FH), que variaram de 0,85 a 1,0, para todos os cultivos analisados:

$$FH = \frac{207}{-85 * \left(\frac{Etr}{Eto}\right) + 292} \quad (6)$$

Na Figura 2 é apresentado o extrato do balanço hídrico para dois anos agrícolas cujos dados foram

utilizados no presente estudo. O extrato do balanço hídrico apresenta períodos com excedente hídrico e deficiência hídrica, quando a evapotranspiração real é menor que a evapotranspiração de referência. Nesse último caso, a relação Etr/Eto torna-se menor que 1, proporcionando o aparecimento de valores de FH.

No ano agrícola de 1983/1984 (Figura 2A), a relação Etr/Eto nos oito primeiros decêndios após o florescimento foi de 0,99, determinando um valor de FH de 1,0, obtido a partir da equação 6. Nesse ano praticamente não foi verificado o efeito da deficiência hídrica na duração do período florescimento-colheita. No ano agrícola 1999/2000 (Figura 2B), a relação Etr/Eto nos oito primeiros decêndios após o florescimento foi de 0,58, caracterizando um período seco após o florescimento. Nesse ano agrícola, o valor de FH foi de 0,85 e a duração do período florescimento-colheita foi de 237 dias.

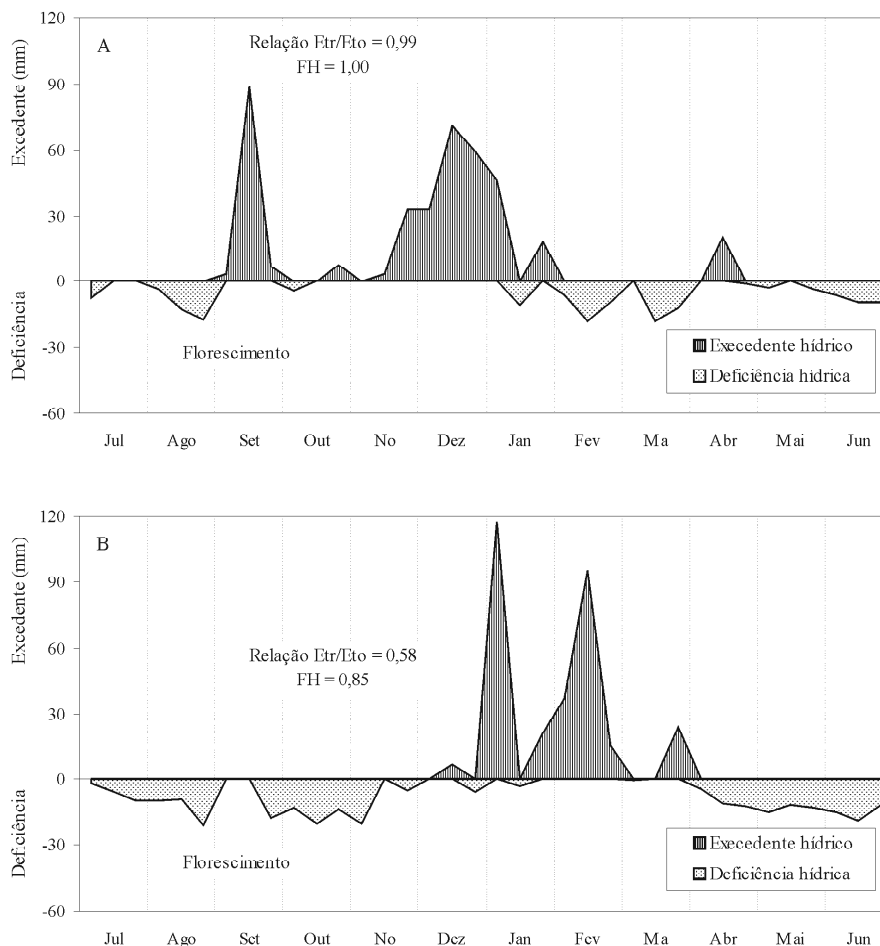


Figura 2 – Extrato do balanço hídrico seqüencial decendial (CAD = 100 mm), no ano agrícola 1983/1984 (A) e no ano agrícola 1999/2000, em Campinas, SP.

Temperatura-base e exigências térmicas

Os resultados de temperatura-base obtidos pelo método da menor variabilidade (ARNOLD, 1959) a partir do cálculo de graus-dia, com e sem correção pelo fator hídrico (FH), são apresentados na Figura 3.

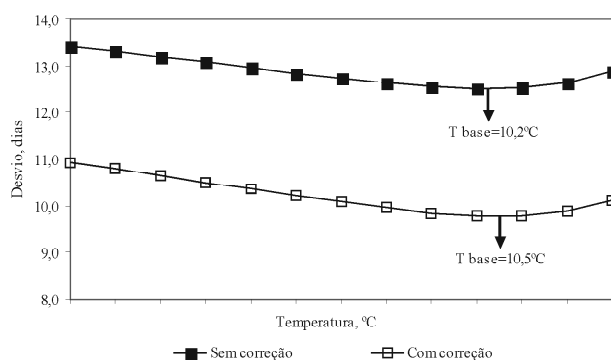


Figura 3 – Determinação da temperatura-base para o período florescimento-colheita, pelo método da menor variabilidade, com e sem correção para o fator hídrico, para a cultivar de café Mundo Novo em Campinas, SP.

Os valores obtidos de temperatura-base foram de 10,2°C e 10,5°C, para o procedimento de cálculo, sem correção e com correção para o fator hídrico, nos oito primeiros decênios, respectivamente. Esses valores são próximos aos obtidos para a maioria das culturas perenes.

A necessidade térmica para o café, cv. Mundo Novo no período florescimento-colheita está apresentada na Tabela 1. Para a temperatura-base de 10,2°C e sem a correção pelo fator hídrico, a soma térmica foi de 2887 graus-dia. Utilizando-se a temperatura-base de 10,5°C e adotando-se o procedimento de correção para o fator hídrico foi determinado um acúmulo de 2761 graus-dia.

O procedimento de correção para o fator hídrico proporcionou uma redução nos valores de desvio-padrão, em dias, mostrando ser uma ferramenta útil na determinação da temperatura-base, assim como determinado por Massignam & Angelocci (1993), em cultivo de girassol.

Quando analisados os valores acumulados de Eto e Etr, constatou-se que a média de evapotranspiração de referência, para a duração do subperíodo floração-colheita, foi de 761 mm e para a evapotranspiração real

Tabela 1 – Soma térmica, em graus-dia, no período florescimento-colheita para o cafeeiro, cv. Mundo Novo, em Campinas, SP.

Ano Agrícola	Soma térmica (Tb=10,2°) Sem correção	Soma térmica (Tb=10,5°) Com correção	Acúmulo de Eto (mm)	Acúmulo de Etr (mm)	Acúmulo de Etr-Eto (mm)*
1971-72	2585	2519	670	644	667
1973-74	2894	2787	759	704	736
1975-76	2769	2703	716	711	716
1977-78	2918	2814	793	636	761
1983-84	2706	2639	735	655	731
1989-90	2993	2848	742	692	698
1989-90 (2)**	2799	2655	721	678	708
1990-91	2944	2825	644	603	613
1993-94	2811	2711	766	740	741
1999-00	3082	2874	803	660	714
2001-02	2839	2716	764	718	731
2002-03	2880	2724	848	722	745
2003-04	3253	3039	883	750	776
2003-04 (2)**	2942	2796	810	736	762
Média	2887	2761	761	689	721
Desvio-padrão	43,5	33,2	17,3	11,9	11,3
CV (%)	5,6	4,5	8,5	6,4	5,9

* Foi considerado acúmulo de Etr, nos oito primeiros decênios após o florescimento, e Eto no período restante até a colheita.

** Nos anos de 1989-90 e 2003-04 foram monitorados dois florescimentos.

esses valores foram da ordem de 689 mm. Visando aprimorar o uso do acúmulo de evapotranspiração como um parâmetro indicativo de duração do subperíodo florescimento-colheita do cafeeiro, testou-se uma alternativa que levou em consideração o acúmulo de evapotranspiração real no início do desenvolvimento dos frutos (oito primeiros decêndios após a florada) e, a partir do nono decêndio, o acúmulo de evapotranspiração de referência até a colheita. Nesse caso, o valor médio obtido foi de 721mm.

Quando analisado o desempenho estatístico de todas as variáveis, foram verificados menores valores de coeficiente de variação quando utilizou-se a correção de graus-dia baseada no fator hídrico e quando levou-se em consideração o somatório de ETr, no início de desenvolvimento dos frutos.

Como a estimativa de Eto, nesse caso, foi realizada pelo método de Thornthwaite, que é um método fortemente relacionado com a temperatura e a evapotranspiração real leva em consideração a ocorrência de períodos de deficiência hídrica, o melhor desempenho do método de graus-dia com correção pelo fator hídrico e do método que levou em consideração a evapotranspiração real, no início do desenvolvimento dos frutos, confirma-se a influência de período de deficiência hídrica no desenvolvimento inicial dos frutos de café.

CONCLUSÕES

Os valores de temperatura-base e soma térmica do cafeeiro, cv. Mundo Novo, foram 10,2°C e 2887 graus-dia e 10,5°C e 2761 graus-dia, quando determinados sem e com correção pelo fator hídrico, respectivamente.

A utilização de graus-dia corrigidos pelo fator de disponibilidade hídrica melhorou a estimativa da temperatura-base e da soma térmica do cafeeiro cv. Mundo Novo.

O acúmulo médio de Eto foi de 761mm, de Etr 689 mm, para o período florescimento-colheita do cafeeiro, e quando levou-se em consideração o acúmulo de ETr, apenas no início do desenvolvimento dos frutos (oito primeiros decêndios), o valor médio foi de 721mm.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 74, p. 430-445, 1959.

CAMARGO, A. P. Florescimento e frutificação do café arábica 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.

CARAMORI, P. H.; ANDRADE, G. A.; CAVIGLIONE, J. H.; RICCE, W. S. Zonas de maturação dos cultivares de café catuaí e mundo novo no estado do paraná baseadas no acúmulo de graus-dia. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia, SP. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa-Café, 2007. CD-ROM.

GOMEZ-GOMEZ, L. Influência de los factores climáticos sobre la periodicidad de crecimiento del cafeto. **Genicafé**, Chinchiná, 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 antese e maturação dos frutos. 1984. 237 f. Dissertação (Mestrado em Biologia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1984.

KUMAR, D. Some aspects of the physiology of *Coffea arabica* L.: a review. **Kenya Coffee**, Nairobi, v. 44, n. 519, p. 9-47, 1979.

MASSIGNAM, A. M.; ANGELOCCI, L. R. Relações entre temperatura do ar, disponibilidade hídrica no solo, fotoperíodo e duração de subperíodos fenológicos do girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, p. 63-69, 1993.

ORTOLANI, A. A.; PEDRO JUNIOR, M. J.; CAMARGO, M. B. P. Regionalização da época de maturação e qualidade natural de bebida do café arábica no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: FUNCEME-SBA, 2001. p. 53-54.

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

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, p. 26-40, 1985.

SONDAHL, M. R.; SHARP, W. R. Research in *Coffea* spp. and applications of tissue culture methods. In: PADDOCK, E. F.; RAGHAVAN, V. (Eds.). **Plant cell and tissue culture: principles and applications**. Columbus: Ohio State University, 1979. p. 527-584.

THORNTWHAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance: publications in climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.