



**DISSERTAÇÃO**

**CONSUMO DE ÁGUA E PRODUTIVIDADE DE  
CAFEEIROS ARÁBICA NA REGIÃO DE  
MOCOCA, SP**

**EMILIO SEIGUI KOBAYASHI**

**Campinas, SP  
2007**

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.

**INSTITUTO AGRONÔMICO**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA  
TROPICAL E SUBTROPICAL**

**CONSUMO DE ÁGUA E PRODUTIVIDADE DE CAFEEIROS  
ARÁBICA NA REGIÃO DE MOCOCA, SP**

**EMILIO SEIGUI KOBAYASHI**

**Orientador: Emilio Sakai**

**Co-orientador: Emerson Alves da Silva**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Agricultura Tropical e Subtropical na Área de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais.

Campinas, SP  
Abril 2007



SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO  
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA  
DOS AGRONEGÓCIOS  
INSTITUTO AGRONÔMICO  
Pós-Graduação  
Av. Barão de Itapura 1481 Caixa Postal 28  
13001-970 Campinas, SP - Brasil  
(019) 3231-5422 ramal 194  
pgiac@iac.sp.gov.br



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**  
**PÓS-GRADUAÇÃO**  
**AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL**

**TÍTULO: Consumo de água e produtividade de cafeeiros arábica na região de Mococa, SP**

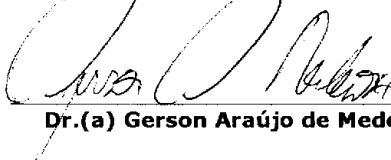
**Aluno(a): Emilio Seigui Kobayashi**  
**Processo SAA nº. 12034/05**

**Orientador(a): Emílio Sakai**

**Aprovado pela Banca Examinadora:**

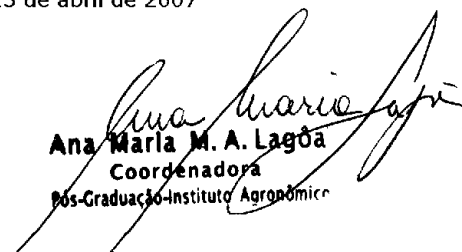
  
\_\_\_\_\_  
**Dr.(a) Emílio Sakai - IAC**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr.(a) Regina Célia de Matos Pires - IAC**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr.(a) Gerson Araújo de Medeiros - UNIPINHAL**

Campinas, 23 de abril de 2007

Visto:

  
**Ana Maria M. A. Lagoa**  
Coordenadora  
Pós-Graduação-Instituto Agronômico

Aos meus pais

Marli e Yoshihiro (*in memoriam*),

**DEDICO**

À Fabiane, cujo incentivo, apoio,  
carinho, amor, dedicação e  
companheirismo foram  
indispensáveis,

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

- Ao pesquisador e orientador Dr. Emilio Sakai, pela paciência, confiança e ensinamentos importantes no curso e na minha vida profissional;
- Ao pesquisador e co-orientador Dr. Emerson Alves da Silva, pelo auxílio e atenção durante a realização deste trabalho;
- Aos pesquisadores Dra. Regina Célia de Matos Pires e Dr. Flavio Busmeyer Arruda, pelo auxílio, sugestões e ensinamentos;
- Ao Diretor do Pólo Regional de Desenvolvimento do Nordeste Paulista, Dr. Paulo Boller Gallo pelo apoio institucional para execução do trabalho;
- Aos pesquisadores e técnicos do Pólo Regional de Desenvolvimento do Nordeste Paulista, em especial à Dra. Jane M. C. Silveira e Dr. Paulo S. Souza, pelo apoio e auxílio técnico;
- Ao Diretor do Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agrônomo, Dr Orivaldo Brunini, por disponibilizar os dados climáticos do município de Mococa, SP;
- Ao Secretário Municipal de Defesa, Proteção e Preservação do Meio Ambiente de Sumaré, Dr. Aristot Gonçalves da Costa, pelo apoio para realização desta empreitada;
- Aos pesquisadores e funcionários do setor de Climatologia, pelo auxílio técnico e boa convivência no decorrer do trabalho, em especial ao MSc. Gabriel Constantinho Blain;
- Aos técnicos e estagiários do setor de Irrigação e Drenagem, que auxiliaram nos trabalhos de campo, em especial ao Leonardo Rosa Teixeira e Décio Bodine Jr.;
- À secretária do setor de Irrigação e Drenagem Izolina Brenelli Simel pelo auxílio no decorrer do curso;
- Aos funcionários da PG-IAC, pelo auxílio e bom relacionamento no decorrer do curso;
- A todos os colegas da pós-graduação, em especial ao Eduardo Ribeiro da Silva, pela amizade e incentivo no decorrer do curso;
- À Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP e à Fundação de Apoio à Pesquisa – FUNDAG pelo apoio estrutural indispensável para a realização do trabalho.

## SUMÁRIO

|  |      |
|--|------|
| ÍNDICE DE TABELAS.....   | vii  |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....   | viii |
| RESUMO.....  | x    |
| ABSTRACT.....  | xii  |
| 1 INTRODUÇÃO.....  | 1    |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA.....   | 4    |
| 2.1 A Cafeicultura no Brasil: Evolução e Importância.....  | 4    |
| 2.2 Café Arábica.....  | 5    |
| 2.2.1 Fenologia do cafeeiro arábica.....   | 6    |
| 2.3 Importância da Água na Agricultura.....  | 8    |
| 2.4 A Irrigação na Cafeicultura.....   | 9    |
| 2.4.1 Manejo da irrigação.....   | 10   |
| 2.4.2 Potencial da água na planta.....   | 12   |
| 2.4.3 Umidade e o potencial da água no solo.....   | 14   |
| 2.4.4 Índice de área foliar (IAF).....   | 14   |
| 2.4.5 Profundidade efetiva do sistema radicular.....   | 15   |
| 2.5 Parâmetros Edafoclimáticos.....  | 16   |
| 2.6 Consumo Hídrico do Cafeeiro.....   | 17   |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS.....  | 21   |
| 3.1 Caracterização das Plantas e Condições de Cultivo.....   | 21   |
| 3.2 Parâmetros Edafoclimáticos.....  | 25   |
| 3.2.1 Dados climáticos, balanço hídrico e consumo de água.....                                     | 25   |
| 3.2.2 Umidade do solo.....   | 26   |
| 3.3 Potencial da Água na Folha na Antemanhã ( $\Psi_{am}$ ) e ao Longo do Dia ( $\Psi_a$ ).....    | 27   |
| 3.4 Avaliações Fenológicas e Parâmetros de Produção.....   | 28   |
| 3.4.1 Uniformidade de produção.....  | 28   |
| 3.4.2 Produtividade do cafeeiro.....   | 28   |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 29   |
| 4.1 Condições Ambientais.....  | 29   |
| 4.2 Teor de Água do Solo ao Longo do Período para as Áreas Correspondentes<br>a cada Cultivar..... | 32   |
| 4.3 Variação Sazonal da Umidade ao Longo do Perfil do Solo Medida em<br>Intervalos Semanais.....   | 34   |
| 4.4 Variação Sazonal do <del>Potencial de</del> Potencial de Água na Planta na Antemanhã.....      | 37   |
| 4.5 Variação do Potencial de Água na Pla   |      |

## ÍNDICE DE TABELAS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabela 1 - | Análise física do solo para as áreas correspondentes aos cultivares MN, OB e OV em Mococa, SP.....   | 22 |
| Tabela 2 - | Análise química do solo nas áreas correspondentes com as cultivares MN, OB, OV em Mococa, SP. ....   | 23 |
| Tabela 3 - | Valores médios de altura, diâmetro da copa, cobertura vegetal e índice de área foliar para as cultivares MN, OB e OV em Mococa, SP, em 06/01/06..... | 24 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figura 1 -  | Esquema climático-fenológico para a cultura do cafeeiro arábica nas condições climáticas do Brasil (Fonte: CAMARGO & CAMARGO, 2001).....  | 7  |
| Figura 2 -  | Curvas características de retenção de água no solo das profundidades de 20, 40 e 60 cm para as áreas correspondentes às cultivares OB e MN. ....  | 24 |
| Figura 3 -  | Curvas características de retenção de água no solo das profundidades de 20, 40 e 60 cm para a área correspondente à cultivar OV.....  | 24 |
| Figura 4 -  | Equipamento utilizado para monitoramento da umidade do solo: a. Sonda de umidade Sentek modelo Diviner 2000; b. Tubo de acesso da sonda de umidade Sentek. ....   | 27 |
| Figura 5 -  | Bomba de pressão tipo Scholander.....   | 27 |
| Figura 6 -  | Valores de precipitação mensal acumulada (mm) e temperatura do ar média mensal (°C) ocorridas durante o período do ensaio realizado em Mococa-SP. ....  | 31 |
| Figura 7 -  | Valores médios mensais da umidade relativa do ar (%) e radiação global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) ocorridas durante o período do ensaio realizado em Mococa-SP. ....   | 31 |
| Figura 8 -  | Valores médios mensais de déficit de pressão de vapor do ar (kPa) e $\text{ET}_0$ ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada pelo método de Penman Monteith (ALLEN et al., 1998), ocorridos durante o período do ensaio realizado em Mococa-SP.....             | 32 |
| Figura 9 -  | Valores médios mensais de velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ), a dois metros de altura, ocorridos durante o período do ensaio realizado em Mococa-SP. ....  | 32 |
| Figura 10 - | Valores médios mensais do armazenamento de água no solo (mm), considerando a profundidade efetiva das raízes a 70 cm da superfície do solo, nas três áreas correspondentes a cada cultivar estudado, avaliado com a sonda de umidade Diviner 2000. .... | 34 |
| Figura 11 - | Variação da umidade ao longo do perfil do solo durante o ensaio realizado com o cultivar MN no município de Mococa-SP. ....   | 35 |
| Figura 12 - | Variação da umidade ao longo do perfil do solo durante o ensaio realizado com o cultivar OB no município de Mococa-SP. ....   | 36 |
| Figura 13 - | Variação da umidade ao longo do perfil do solo durante o ensaio realizado com o cultivar OV no município de Mococa-SP.....  | 37 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Figura 14 - | Varição do potencial de água na planta medidos na antemanhã durante um ano para as cultivares MN, OB e OV.....   | 39 |
| Figura 15 - | Varição do potencial de água na planta do dia 03/02/2006.....  | 41 |
| Figura 16 - | Varição do potencial de água na planta do dia 13/04/2006.....  | 41 |
| Figura 17 - | Varição do potencial de água na planta do dia 28/04/2006.....  | 41 |
| Figura 18 - | Varição do consumo de água ( $ET_C$ ) pelas três cultivares de café durante o período de um ano. ....  | 43 |
| Figura 19 - | Varição do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) dos três cultivares de café durante o período de um ano. ....  | 45 |
| Figura 20 - | Produção média em quilogramas por planta (em coco e beneficiado) para cada cultivar estudada, e porcentagem de café beneficiado em relação ao em coco. ....  | 48 |
| Figura 21 - | Uniformidade de produção com relação ao estágio de maturação dos frutos, para as cultivares MN e OV, cuja classificação foi realizada separando os frutos em cereja, passa e seco, e verde, expressa em porcentagem (%)..... | 49 |
| Figura 22 - | Número médio de grãos por ramo das cultivares MN e OV, classificados em frutos em cereja, passa e seco, e verde. ....  | 49 |
| Figura 23 - | Distribuição porcentagem média de grãos conforme o número da peneira dos cultivares MN e OV em Mococa, SP.....   | 50 |

KOBAYASHI, Emilio Seigui. **Consumo de água e produtividade de cafeeiros arábica na região de Mococa, SP.** 2007. 64f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) – Pós-Graduação – IAC.

## RESUMO

Para avaliar e comparar o consumo hídrico e a produtividade de diferentes cultivares de *Coffea arábica* L., Mundo Novo (MN), Obatã (OB) e Ouro-Verde (OV), foi conduzido um experimento em Mococa - SP de agosto de 2005 a julho de 2006. Os cultivares OB e OV tinham oito anos de idade, e as plantas do MN haviam sido recepadas há cinco anos. Os espaçamentos entre plantas foram de 2,5 x 1,0 m; 3,6 x 1,0 m; e 3,5 x 2,0 m, respectivamente. Para a caracterização das áreas foram realizadas avaliações químicas, granulométricas e físico-hídricas do solo nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. Ao longo do experimento, foram realizados monitoramentos sistemáticos, a intervalos semanais, da umidade do solo a cada 10 cm até a profundidade de 1,0 m e, a cada duas semanas, dos potenciais da água das plantas na antemanhã ( $\Psi_{am}$ ), além da temperatura do ar, precipitação, umidade relativa, radiação global e velocidade do vento. Esporadicamente foram medidos  $\Psi_a$  na folha ao longo do dia. O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) foi estimado por meio de balanço hídrico do solo. O valor de  $K_c$  para cada cultivar foi da ordem de 0,82; 0,81 e 0,83 no período de setembro (início do florescimento) a abril (início de maturação dos frutos), e de 0,13; 0,12 e 0,19 no período de maio a agosto (fase intermediária, final de maturação e de repouso das plantas), para MN, OB e OV, respectivamente. Tais valores estão intimamente relacionados com a disponibilidade de água no solo, a demanda atmosférica para a evapotranspiração da cultura e a distribuição de chuvas. Períodos de veranico e de má distribuição de chuva observados durante o estudo resultaram em menores valores de  $K_c$ , cujo reflexo também foi evidenciado pelas leituras de  $\Psi_{am}$  na folha realizadas na mesma época. Os dados de  $\Psi_{am}$  na folha variaram em função da quantidade de água no solo e refletiram uma situação de cultivo sem utilização de irrigação, sofrendo as oscilações decorrentes da precipitação sazonal. Os valores de  $\Psi_{am}$  foram de -1,29; -1,60 e -1,68 MPa nos meses de estiagem e -0,06; -0,07 e -0,07 MPa nos meses de maiores precipitações para MN, OB e OV, respectivamente. A variação da produtividade dos cultivares foi aparentemente condicionada pela disponibilidade hídrica no solo. O consumo hídrico no período experimental foi de 762, 763 e 800 mm, para MN, OB e OV,

respectivamente. Nesse intervalo de tempo, dois fatos significativos ocorreram: períodos de estiagem relativamente longos que coincidiram com a fase de repouso das plantas, bem como o veranico de 17 dias em janeiro de 2006, que restringiu o consumo hídrico das plantas. A evapotranspiração da cultura ( $ET_C$ ) representou de cerca de 82% da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) nos períodos de maior demanda climática e adequada disponibilidade de água no solo e 15% na fase de indução e maturação das gemas florais. A produção de café beneficiado foi de 2,9 e 3,3 t ha<sup>-1</sup> para as cultivares MN e OV, respectivamente.

Palavras-Chave: Café, Balanço Hídrico, Evapotranspiração.

KOBAYASHI, Emilio Seigui. **Water consumption and yield of Arabic coffee trees in Mococa, Brazil**. 2007. 64f. Dissertation (Master in Gestão de Recursos Agroambientais) – Pós-Graduação – IAC.

### ABSTRACT

A field experiment with coffee cultivars of Mundo Novo (MN), Obatã (OB) and Ouro Verde (OV) were carried out in the Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico do Agronegócio do Nordeste Paulista, in Mococa, SP, Brazil, from August 2005 to July 2006, with the purpose of compare cultivar water consumption and yield. OB and OV specimens used in the experiment were eight years old and MN had been plants topped five years ago. Plants spacements were 2.5 x 1.0 m, 3.6 x 1.0 m, and 3.5 x 2.0 m, respectively. Soil chemical condition and water retention were characterized at 0-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm deep; weekly soil moisture was evaluated every 0.10 m up to 1.00 m deep; predawn leaf water potential ( $\Psi_{am}$ ) was measured every other weak and, eventually along the day ( $\Psi_a$ ); also meteorological parameters were measured by an automatic station. The crop coefficient (Kc) was esteemed by soil water balance. The crop coefficient values (Kc) were nearby 0.82, 0.81 and 0.83 from September (flower bud beginning period) to April (fruit maturation beginning period) and 0.13; 0.12 and 0.19 from May to August (plants at intermediate, final maturation and dormancy period) for MN, OB and OV, respectively. Those values were closed related to soil moisture, plant evapotranspiration demand and rainfall distribution. Dry period and irregular rainfall distribution periods observed during the experiment resulted in smaller Kc' values, the same was observed with  $\Psi_{am}$ . Leaf  $\Psi_{am}$  data changed according to the soil water and reflected the non-irrigated crop condition, that according to seasonal rainfall irregular distribution. The  $\Psi_{am}$  values were -1.29, -1.60 and -1.68 MPa during the dry season, and -0.06, -0.07 and -0.07 MPa during the higher precipitation months for MN, OB and OV, respectively. Variation in cultivar yield had apparently depended on soil water available. Water consumption during the experimental period was 762, 763 and 800 mm, for MN, OB e OV, respectively. During this interval two significant facts occurred: relative long dry season period, which matched with plants dormancy period, and 17 dry days in January, 2006 that affected the water consumption of plants. Crop evapotranspiration ( $ET_C$ ) represented around 82% from reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) during the higher water demand periods and 15% during flower

bud induction and maturation phase. The processed coffee production was 2.9 and 3.3 t ha<sup>-1</sup> for MN and OV, respectively.

Key-Words: Coffee, Water Balance, Evapotranspiration.

## **1 INTRODUÇÃO**

A cafeicultura é uma das mais importantes atividades agrícolas do Brasil, com relevante influência nos aspectos socioeconômicos e no agronegócio do país. No cenário mundial, o café é um dos produtos agrícolas de maior significância, sendo o segundo maior gerador de divisas, perdendo apenas para o mercado do petróleo (GUIMARÃES et al., 2002).

cafeeiro é bastante variável (GOPAL, 1974) e depende do local de cultivo e de práticas de manejo, dentre as quais se destaca a irrigação (SILVA, 2004).

Considerando-se a crescente preocupação com a escassez de água e a



com vistas a auxiliar no manejo e no uso racional de recursos hídricos em sistemas de irrigação.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A Cafeicultura no Brasil: Evolução e Importância.

O cafeeiro é uma planta originária da Abissínia, hoje Etiópia, e foi descoberto por um pastor árabe que percebeu que suas cabras apresentavam um comportamento agitado após o consumo de pequenos frutos vermelhos de um arbusto nativo. Após sua descoberta, seu consumo foi difundido inicialmente entre a comunidade árabe na forma de infusão e depois se expandiu pelo Ocidente, Ásia, Indonésia, Américas, e África Tropical. No Brasil, as primeiras mudas de café foram trazidas clandestinamente pelo Sargento-Mor Francisco de Mello Palheta, a pedido do governador do Maranhão e Grão Pará da Guiana Francesa em 1727. Já naquela época o café possuía grande valor comercial (MATIELLI & RUGGIERO, 2005).

As plantações comerciais de café, cultivadas em diversas localidades do globo terrestre, encontram-se distribuídas no continente americano desde Cuba em latitude de 22° N até o Estado do Paraná em latitude de 26° S (EVANOFF, 1994).

Devido às condições climáticas favoráveis, o cultivo de café se espalhou rapidamente no Brasil, com produção voltada para o mercado doméstico. Em pouco tempo, o café passou de uma posição relativamente secundária para a de produto-base da economia brasileira. Por quase um século, o café foi a grande riqueza brasileira, e as divisas geradas pela economia cafeeira aceleraram o desenvolvimento do país e o inseriram nas relações internacionais de comércio (ABIC, 2005).

A cultura do café ocupou vales e montanhas, possibilitando o surgimento de cidades e a dinamização de importantes centros urbanos por todo o interior do estado de São Paulo, sul de Minas Gerais e norte do Paraná. Ferrovias foram construídas para permitir o escoamento da produção, substituindo o transporte animal e impulsionando o comércio inter-regional de outras importantes mercadorias. O café trouxe grandes contingentes de imigrantes, consolidou a expansão da classe média, a diversificação de investimentos e até mesmo intensificou movimentos culturais (ABIC, 2005).

Entretanto, o cultivo do café em áreas com declive acentuado e o total descuido quanto à preservação do solo gerou intensa erosão. Por este motivo, as terras se esgotaram rapidamente e a cultura cafeeira migrou para o Oeste Paulista, centralizando-se em Campinas e estendendo-se até Ribeirão Preto (ABIC, 2005).

Atualmente, o agronegócio mundial do café movimenta cerca de 91 bilhões de dólares anuais e envolve meio bilhão de pessoas, o equivalente a 8% da população mundial. No Brasil, o produto continua sendo um expressivo gerador de divisas, contribuindo com mais de 2% do valor total das exportações brasileiras e respondendo por mais de 30% da produção mundial. Além disso, o café responde pela geração de 8 milhões de empregos e, apenas na agricultura, por uma riqueza anual de 10 bilhões de reais (EMBRAPA, 2004).

A área de café no Brasil ocupa atualmente 2,5 milhões de hectares, com aproximadamente seis bilhões de pés. Está presente em mais de dois mil municípios de 16 estados da federação, do Paraná ao Amapá, o que possibilita uma diversificada disposição espacial da produção, sendo os maiores produtores os estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Paraná e Rondônia, cujas produções somadas detêm aproximadamente 97% da produção nacional (CONAB, 2006). Em função dessa ocupação geográfica e da decorrente diversidade de climas e solos, o Brasil apresenta a vantajosa característica de produzir vários tipos de café, o que amplia em muito sua capacidade de atender às mais diferentes exigências mundiais no que se refere a paladares e preços. Esse é um dos motivos que leva o Brasil a ocupar, cada vez mais, a posição de líder mundial, não só em quantidade, mas principalmente em qualidade, de modo a atender as peculiaridades do mercado consumidor global (EMBRAPA, 2004).

## **2.2 Café Arábica**

O café arábica (*Coffea arabica L.*), planta perene de porte arbustivo, pertencente à família Rubiaceae e produtora de frutos tipo baga, contém, normalmente, duas sementes que representam o seu produto econômico e que, depois de convenientemente processadas, são consumidas na forma de infusão. É tetraplóide, com  $2n = 44$  cromossomos, autocompatível, e se multiplica predominantemente por autofecundação. Sua fertilização se dá 24 horas após a polinização, ocorrendo a primeira divisão de célula do endosperma de 21-27 dias depois da fertilização e a primeira divisão do embrião de 60-70 dias da polinização (THOMAZIELLO, et al. 2000).

O café arábica é originário de áreas florestais elevadas da Etiópia, próximas à linha equatorial, em latitudes variáveis de 6° a 9° N e altitudes médias de 1600 a 2000 metros, onde a temperatura média anual do ar oscila entre 15° e 20° C e as chuvas são da

ordem de 1600 a 2000 milímetros anuais (CARR, 2001). Temperaturas médias anuais entre 18° e 22° parecem ser os limites mais indicados ao café arábica (ALFONSI, 2000).

Quando em áreas com temperaturas médias anuais elevadas (acima de 23° C), o cafeeiro arábica apresenta frutificação e maturação demasiadamente precoces, podendo ocasionar perdas na qualidade final do produto, pois as fases da colheita e secagem podem coincidir com períodos quentes e chuvosos. Por outro lado, temperaturas médias anuais baixas (inferiores a 18° C) provocam aumento no período de frutificação, podendo a maturação se sobrepor ao florescimento no ano seguinte, prejudicando, assim, a vegetação e a produção final (ALFONSI, 2000).

O ciclo de vida do cafeeiro está dividido em três grandes períodos: 1° - de crescimento, que vai da germinação à maturidade sexual; 2° - de produção; e 3° - de decadência fisiológica, que termina com a morte da planta. Cada uma dessas fases é influenciada, em maior ou menor intensidade, por fatores ambientais como temperatura, radiação, precipitação e características do solo (EVANOFF, 1994).

### **2.2.1 Fenologia do cafeeiro arábica**

O conhecimento do ciclo fenológico, ou seja, da sucessão das fases fisiológicas da frutificação do cafeeiro, é fator importante a ser considerado na prescrição da irrigação para obter boa produtividade e qualidade do produto. A irrigação visa suplementar o volume de chuvas por ventura insuficientes nas diferentes fases fenológicas críticas. A vegetação e a frutificação dos cafeeiros abrangem seis fases fenológicas distintas, em dois anos seguidos, conforme apresentado esquematicamente na Figura 1.

A 1ª fase é vegetativa com duração de sete meses, de setembro a março, todos com dias longos. A 2ª fase, também vegetativa, tem duração de abril a agosto, com dias curtos, quando há indução das gemas vegetativas dos nós formados na 1ª fase para gemas reprodutivas. No final da 2ª fase, em julho e agosto, as plantas entram em relativo repouso, com formação de um ou dois pares de folhas pequenas. Em seguida, ocorre a maturação das gemas reprodutivas após o acúmulo de cerca de 350 mm de evapotranspiração potencial ( $ET_0$ ), a partir de abril. A 3ª fase, de florada e expansão dos frutos, ocorre de setembro a dezembro. As floradas ocorrem cerca de 8 a 15 dias após o aumento do potencial hídrico nas gemas florais (choque hídrico), causado por chuva ou irrigação. A 4ª fase corresponde à granação dos frutos e ocorre de janeiro a março. Após



## 2.3 Importância da Água na Agricultura

Segundo CHRISTOFIDIS (2006), cerca de 1,54 bilhões de hectares de solos são utilizados para produção agrícola no planeta, dos quais cerca de 277 milhões estão sob o domínio de infra-estrutura hídrica de irrigação. A área de 18,0% sob cultivo irrigado produz aproximadamente 44% da produção total agrícola, enquanto a agricultura de sequeiro responde pelo restante. O mesmo autor estima que o máximo possível de crescimento de forma sustentável da superfície irrigada seja de mais 195 milhões de hectares.

A água renovável no planeta, presente sobre os continentes, corresponde a 110.000 km<sup>3</sup> e a parte dela que compreende a precipitação que alimenta os cursos de água e que serve de recarga aos aquíferos, considerada como objeto do foco tradicional da gestão dos recursos hídricos, é equivalente a uma oferta anual da ordem de 44.000 km<sup>3</sup> (WWV, 2000). Já agricultura consome dois terços da água potável disponível no mundo (CHRISTOFIDIS, 2006), sendo que a irrigação é a principal atividade agrícola consumidora de água (LUZ et al., 2005). Segundo CONEJO (2005), a demanda de água (vazão de retirada) no país é de 1.592 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, sendo que, cerca de 53% deste total (841 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>) são consumidos, não retornando às bacias hidrográficas. Para FALKEMARK (1994), a água pode ser o recurso que definirá os limites do desenvolvimento sustentável, sendo insubstituível, e o balanço entre a demanda da humanidade e a quantidade disponível já é precário.

Entretanto, a água é de fundamental importância na produção vegetal. Sua falta ou excesso afeta de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas e, por isso, o manejo adequado desse bem é de relevante importância na maximização da produção agrícola (REICHARDT, 1985).

A água constitui, aproximadamente, 90% da massa da planta, atuando praticamente em todos os seus processos fisiológicos e bioquímicos. Desempenha a função de solvente, através do qual os gases, minerais e outros solutos entram nas células e movem-se através da planta. Tem ainda papel importante na regulação térmica da planta, agindo tanto no resfriamento, através do processo de evapotranspiração, como na manutenção e distribuição do calor (NOBEL, 1980).

O cafeeiro, em consequência da falta de água no solo, tem seu metabolismo alterado; há redução do fluxo de vapor e da transpiração, bem como da absorção de água e de nutriente pelo sistema radicular, especialmente pelas raízes absorventes e,

conseqüentemente, diminuição da produção (MATIELLO & DANTAS, 1987). Nestas condições, a taxa fotossintética e respiratória, bem como o crescimento vegetal, ficam limitados pela falta de água para atender as necessidades da planta (COSTA et al., 1997), embora seus efeitos na formação e maturação dos grãos dependam da duração, intensidade e estágio fenológico (CAMARGO, 1987). Quando a deficiência de água ocorre após a abertura das flores, o cafeeiro predispõe-se à atrofia, abscesso e redução do tamanho médio dos frutos, afetando adversamente a produtividade do café (CAMARGO et al., 1984; FREIRE & MIGUEL, 1984; RENA & MAESTRI, 1986).

Conforme SALISBURY & ROSS (1978), nos vários tipos de vegetação encontrados na natureza, a produtividade está fortemente relacionada com a água disponível para as plantas. Dentre os vários fatores limitantes da produção vegetal, o déficit hídrico ocupa posição de destaque, pois além de afetar diretamente as relações hídricas nas plantas, alterando-lhes o metabolismo, é fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis (RIGHI, 2005). Entretanto, BOYER (1982) observou que as plantas podem desenvolver mecanismos que diminuem os efeitos da falta de água, capazes de serem transmitidos geneticamente. No entanto, MAZZAFERA & CARVALHO (1987) observaram que é importante correlacionar a produtividade dos cafeeiros com condições de deficiência hídrica, uma vez que, muitas progênies tolerantes à seca apresentam baixas produções.

## **2.4 A Irrigação na Cafeicultura**

Atualmente, o Brasil possui cerca de 3.440.470 hectares de agricultura irrigada, sendo 50% de superfície, 19% por aspersão, 21% por pivô e 10% localizada (CHRISTOFIDIS, 2006). O uso da técnica de irrigação na cultura de café cresceu acentuadamente em diversas regiões brasileiras, alcançando uma área de cerca de 200.000 hectares, valor que representa 10% da área cultivada com café e 8,7% da área irrigada no país (FERNANDES & DRUMOND, 2002; MANTOVANI, 2000).

Vários autores constataram os efeitos benéficos da irrigação em relação ao aumento significativo da produtividade em cafeeiros irrigados quando comparados a não-irrigados (ALVES, 1999; ANTUNES et al., 2000; FERNANDES et al., 1998a e 1998b; NJOROGÉ, 1989; REIS et al., 1990; SOARES et al., 2000; MARTINS et al., 2002). ARAÚJO (1982) afirma ainda que a irrigação, além de propiciar maior produtividade, possibilita a obtenção de um melhor tipo de produto e bebida.

Segundo MATIELLO (1991), a ocorrência de estiagens ocasionais e deficiências hídricas acentuadas na fase de frutificação ou expansão afetam o crescimento dos grãos. Adicionalmente, se ocorrerem na fase de granação, quando os frutos estão se solidificando internamente, eles poderão ficar chochos ou mal granados (SILVA et al., 2002). Segundo SANTINATO et al. (1996), sem a prática da irrigação na cafeicultura, o país deixaria de produzir de 2,0 a 2,5 milhões de sacas beneficiadas por ano.

Já em períodos prolongados de seca e, conseqüentemente, aumento do déficit hídrico da planta, o cafeeiro começa a apresentar sintomas como murcha, desfolha, secamento dos ramos, morte das raízes e aparecimento de deficiências induzidas de nutrientes, acarretando em decréscimo de produtividade (JORDÃO et al., 1996).

SANTINATO et al. (1989) relataram que a adoção da irrigação para o cafeeiro é bem aceita pelos produtores devido ao aumento substancial de produtividade, sendo que os principais fatores que afetam seu sucesso são: o tipo de sistema utilizado, o dimensionamento adequado do sistema e o manejo adequado da irrigação. Dentre os sistemas de irrigação existentes, destacam-se a irrigação por aspersão convencional, pivô central e o gotejamento, sendo que os sistemas preferencialmente utilizados são os pressurizados por aspersão ou localizados (PAIVA, 2006).

O sistema de irrigação por gotejamento é responsável por mais de 20.000 hectares desde regiões do cerrado mineiro, onde dificilmente se produz café sem irrigação, até regiões de altos índices pluviométricos como o sul de Minas Gerais e São Paulo. A maioria dos projetos existentes mostra uma maior produção, aumentando o crescimento vegetativo de cafeeiros e melhorando a qualidade, tamanho e uniformidade dos frutos (SOUSA et al., 2001).

#### **2.4.1 Manejo da irrigação**

Os benefícios da irrigação só podem ser alcançados em toda a sua plenitude para uma determinada cultura quando o sistema de irrigação for utilizado com critérios de manejo que resultem em aplicações de água em quantidades compatíveis com as necessidades de consumo da cultura (SILVA et al., 1998), considerando ainda os diferentes estádios de desenvolvimento da planta (SOUSA et al., 2001) e suas densidades de plantio (PAVAN & CHAVES, 1996; SANTANA et al., 2004).

RENA et al. (1996) afirmam que, em cafeeiros cultivados com densidades de 5.000 plantas por hectare, não há problemas de deficiência hídrica, desde que se esteja



em uma região recomendada para a cultura. Tal fato se deve ao sistema radicular atingir maior profundidade, à menor temperatura média do solo e ao melhor controle natural das plantas invasoras, o que resulta em menor evapotranspiração.

RENA & MAESTRI (1986), estudando o comportamento do sistema radicular do cafeeiro em diferentes espaçamentos, constataram que altas densidades de plantio permitem melhor e mais completa exploração dos solos pelas raízes, possibilitando ao cafeeiro a utilização mais eficiente de água e de sais minerais disponíveis, tanto nas camadas superficiais como nas mais profundas do solo, pois explora um maior volume de solo. De acordo com MATIELLO (1991), a população de plantas de cafeeiro, consideradas como sendo uma lavoura adensada, gira em torno de 5.000 a 10.000 plantas ha<sup>-1</sup>, o que pode afetar o consumo de água.

Métodos de uso menos comum, como medidas de potencial de água na folha (CRISOSTO et al., 1992), resistência estomática, transpiração (FERREIRA et al., 1995) e o uso da termometria ao infravermelho na detecção do estresse hídrico (COSTA & STEINMETZ, 1995) também têm sido estudados como indicativos do estresse hídrico na planta e conseqüentemente como métodos alternativos para o manejo da irrigação (CARVALHO et al., 2006), no entanto, devido à complexidade envolvida e custo tem sido mais aplicados para fins de pesquisa. Mais recentemente, têm-se desenvolvido trabalhos utilizando-se técnicas mais modernas, como a determinação do fluxo de seiva e métodos que utilizam variáveis meteorológicas para a determinação da evapotranspiração (MARIN, 2003).

Dentre os métodos de controle da irrigação, os tensiômetros são os mais utilizados devido à simplicidade e custo relativamente baixo. Entretanto, não são recomendados em tensões superiores a 70 kPa (SILVA et al., 2000). Nessas situações, outras formas de controle são indicadas, como a utilização de blocos porosos calibrados para cada condição específica de solo (GOMIDE, 1998).

Existem diferentes procedimentos que podem ser adotados como critérios apropriados para a realização do manejo da água de irrigação, sendo a maioria baseada em medidas do "status" da água em um ou mais componentes do sistema solo-planta-atmosfera (JAMES, 1988). Considerando o estado da água no solo, COELHO et al. (1995) afirmaram que o monitoramento deste, quando o sistema de irrigação adotado for o localizado por gotejamento, deve ser realizado em profundidades de 0,1 a 0,4 m e distâncias radiais do gotejador maiores que 0,1 m. A localização de sensores para

monitoramento de água no solo em relação aos emissores e a planta é importante para o adequado manejo da irrigação (COELHO & OR, 1999).

O planejamento e a operação de um projeto de irrigação devem basear-se no manejo racional da água, devendo considerar aspectos sociais e ecológicos da região (BERNARDO, 1995). Assim, pode-se maximizar a produtividade e a eficiência no uso da água e minimizar os custos com mão-de-obra, energia e com a própria água, mantendo-se condições de umidade do solo favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura irrigada (MOREIRA, 1992; BERNARDO, 1995; MATIELLO et al., 2002).

Segundo SILVA et al. (1998), qualquer estratégia de manejo de irrigação necessita de parâmetros obtidos pelas curvas de consumo de água das culturas. O consumo de água de uma cultura é função direta da demanda evapotranspirométrica local, do conteúdo de água presente no solo e da capacidade da planta de perder água através das folhas. Além disso, o mesmo autor afirma que a determinação do momento exato para efetuar a irrigação é um dos passos fundamentais para a racionalização do manejo de água na agricultura irrigada. Metodologias de monitoramento do clima vêm sendo mais utilizadas no manejo da irrigação em virtude da possibilidade de utilização de medidas de algumas de suas variáveis para estimar a  $ET_C$ , que vai definir o consumo de água pelas plantas (PEREIRA, 1997). O modelo de Penman-Monteith (PM) tem sido utilizado com sucesso na estimativa da evapotranspiração de referência, sendo por isso considerado padrão no mundo para este tipo de determinação, porém também se destaca como um dos modelos mais complexos (BONOMO, 1999).

O manejo da água na agricultura, portanto, deve ser realizado adequadamente, não somente para economia de água e maximização dos seus potenciais para aumentar a produtividade e qualidade de produção de uma cultura, como também para minimizar problemas como erosão, percolação profunda e poluição de águas subterrâneas.

#### **2.4.2 Potencial da água na planta**

O estado de água nos diversos órgãos das plantas é uma propriedade dinâmica afetada pelo balanço entre a perda do vapor d'água pelas folhas para a atmosfera e a absorção de água pelas raízes. As taxas de transpiração, de fotossíntese e de crescimento são afetadas pelas alterações no estado hídrico das plantas. Um dos meios para caracterizar o estado hídrico nas plantas é a avaliação do potencial de água (ANGELOCCI, 2002).

O potencial hídrico de uma planta varia amplamente conforme a espécie, a época do ano e o horário do dia, sendo menor na época seca e em torno do meio dia, quando a transpiração é mais intensa (TOBIN et al., 1999). O potencia

disponível, o que sugere que o cafeeiro é uma espécie relativamente resistente à seca (MAZZAFERA & CARVALHO, 1987).

Segundo DRINNAN & MENZEL (1994), cafeeiros que atingem potencial hídrico na folha menor que -2,5 MPa florescem dentro de nove dias após a irrigação, sugerindo que algum sinal hidráulico para o florescimento seria requerido. Portanto, é provável que o florescimento e o desenvolvimento dos frutos estariam associados às variações edafoclimáticas, principalmente no que se refere às alterações no potencial hídrico das plantas de café (SILVA et al., 2001).

### **2.4.3 Umidade e o potencial da água no solo**

O monitoramento da água no solo possibilita promover o manejo adequado de sistemas de irrigação.

O consumo de água pelas plantas sob condições de campo pode ser estimado por balanço hídrico pela observação da variação da água do solo até a profundidade explorada pelo sistema radicular. Diversos sensores para a determinação da umidade e do potencial de água no solo têm sido desenvolvidos nos últimos anos empregando-se conceitos de física e de engenharia de materiais, mecânica e eletrônica (ANDRADE et al., 1998). O TDR (*Time Domain Reflectometry*), o tensiômetro ou tensímetro, blocos de resistência elétrica e da matriz granular, sonda de capacitância, dentre outros tem sido adotados para avaliação da água no perfil do solo.

### **2.4.4 Índice de área foliar (IAF)**

O conhecimento da área foliar de uma cultura é de grande importância por ser um parâmetro indicativo de produtividade que depende da relação funcional entre folhas e frutos (RENA et al., 1994) e do processo fotossintético da interceptação da energia luminosa e da sua conversão em energia química (FAVARIN et al., 2002). A eficiência fotossintética depende da taxa fotossintética por unidade de área foliar e da interceptação da radiação solar, as quais, entre outros aspectos, são influenciadas pelas características da arquitetura da copa e da dimensão do sistema fotoassimilador (LEONG, 1980).

A importância de se levar em consideração a área foliar para a estimativa da transpiração é evidenciada pela relação positiva e linear entre o fluxo de seiva na planta

em 24 horas, representativo da transpiração, e a superfície foliar (ANGELOCCI & VALANCOGNE, 1993; VILLA NOVA et al., 2001). Desta forma, a produtividade do cafeeiro é reduzida pela limitação de água, elevando o índice de grãos chochos – da ordem de 45%, quando a deficiência coincide com o período de granação dos frutos (FAVARIN et al., 2001). Além disso, o crescimento dos ramos plagiotrópicos é reduzido, comprometendo a produção subsequente (CAMARGO et al., 1984; FERNANDES et al., 1998b).

Segundo PEREIRA et al. (1997), o conhecimento da área foliar da planta permite a estimativa da perda de água, visto que as folhas são os principais órgãos que participam no processo transpiratório, responsável pelas trocas gasosas com o ambiente.

FAVARIN et al. (2002) propõem a seguinte equação para a estimativa do índice de área foliar (IAF):

$$IAF = -0,5786 + 0,620 \cdot Di \cdot \left( Di^2 + 4 \cdot HD^2 \right)^{0,5} \quad (1)$$

Onde:

IAF: Índice da Área Foliar;

Di: Diâmetro da seção inferior do dossel;

HD: Altura do dossel.

#### **2.4.5 Profundidade efetiva do sistema radicular**

A profundidade efetiva do sistema radicular é a camada de solo explorada efetivamente pelas raízes, ou seja, compreende a camada desde a superfície até onde se concentra a maior parte das raízes absorventes. Considera-se aquela onde estão presentes cerca de 80% do total das raízes absorventes da cultura (FRANÇA JUNIOR, 2003).

O conhecimento do sistema radicular do cafeeiro é de extrema importância para o manejo da lavoura e, quando associado aos fatores edafoclimáticos, é fundamental para a otimização de várias práticas como adubações e aplicações de pesticidas de solo, tratos culturais, densidades de plantio, cultivos intercalares e irrigação (RENA & GUIMARÃES, 2000). Em relação à irrigação, estudos sobre o desenvolvimento das raízes são essenciais, uma vez que uma estimativa errada da profundidade do sistema

radicular pode levar à subestimativa ou à superestimativa do valor da lâmina de irrigação (FRANÇA JUNIOR, 2003).

O cafeeiro é uma planta com sistema radicular pivotante central, com até 4,5 m de profundidade, com raízes axiais se aprofundando no solo em até 3,0 m, e raízes laterais superficiais e subsuperficiais que chegam a até 1,5 m do caule. Dessas raízes, surgem portadoras de raízes absorventes e as próprias absorventes, as quais são levemente mais concentradas nas camadas superficiais (EVANOFF, 1994). CARR (2001) cita resultados experimentais em café irrigado por gotejamento entre 7 e 36 meses após o transplante em que a profundidade de solo explorada pelas raízes era de 0,45 m a 1,2 m. Segundo FRANÇA JUNIOR (2003), no Brasil existem resultados que indicam valores de profundidade efetiva das raízes variando em torno de 0,4 a 0,6 m. Alguns pesquisadores assinalam que a maior concentração do sistema radicular efetivo (60-90%) situa-se nos primeiros 30 cm de profundidade (GUISCAFRÉ-ARRILAGA & GÓMEZ, 1942; FRANCO & INFORZATO, 1946; SÁIZ DEL RIO et al., 1961; BULL, 1963; INFORZATO & REIS, 1974; MATIELLI et al., 1996), outros indicam que a maior concentração de raízes absorventes encontra-se abaixo dos 30 cm (NUTMAN, 1933, 1934). SAKAI et al (2000) observaram que a profundidade efetiva do sistema radicular de alguns cultivares de cafeeiros arábicas conduzidos sem irrigação na região de Mococa-SP situa-se em torno de 0,65 m. BARRETO et al. (2006) verificaram em cafeeiros fertirrigados por gotejamento, em Campinas, que o sistema radicular efetivo situava 0,63 m e 0,70m para emissores espaçados de 0,50m e 0,80m, respectivamente.

## **2.5 Parâmetros Edafoclimáticos**

A utilização, de forma concisa e objetiva, do conhecimento sobre o efeito das variações climáticas de longo prazo e das variações meteorológicas de curto prazo nas atividades agrícolas é fundamental para o entendimento e planejamento do sistema produtivo (COSTA, 1998).

Segundo dados do IBC (1985), a maior parte da cafeicultura brasileira é feita em áreas de clima úmido, onde as plantas encontram normalmente água suficiente no solo para desenvolvimento e produção satisfatórios. Entretanto, conforme MATIELLO (1997), o uso da prática de irrigação tem crescido bastante nos últimos anos, devido às dificuldades climáticas observadas em muitas regiões cafeeiras do país, decorrentes do

cultivo de cafezais em zonas marginais e em áreas não-zoneadas. Além disso, esse

Vários fatores podem afetar o cafeeiro, sendo que o fator hídrico pode ser um dos mais importantes para o desenvolvimento vegetativo e a produtividade da cultura. Entretanto, há necessidade de investigações sobre o volume e a frequência de aplicação de água adequada, abordando o sistema de produção e suas peculiaridades. O déficit hídrico não deve ser muito acentuado, pois refletirá em um desenvolvimento lento e baixa produtividade. Desta forma, conhecendo-se qual a quantidade de água a ser fornecida para as plantas e qual a frequência que deve ser usada, pode-se garantir um manejo eficiente da irrigação, reduzindo custos e evitando excessos desnecessários (VIEIRA et al., 2000).

Uma das estratégias de manejo de irrigação está alicerçada nas curvas de consumo de água das culturas (SILVA et al., 1998). O consumo de água pelo cafeeiro, para melhor definição da lâmina de irrigação a ser aplicada, tem sido quantificado, principalmente, pelo uso de variáveis climatológicas, através da evapotranspiração de referência (ou potencial) ( $ET_0$ ) e do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) (DOORENBOS & KASSAN, 1979), ou mediante a adaptação do balanço hídrico do solo (CAMARGO & PEREIRA, 1994). Além disso, a determinação do momento para efetuar a irrigação é um dos passos fundamentais para racionalização do manejo de água na agricultura irrigada (SILVA et al., 1998).

A  $ET_0$  pode ser definida como a quantidade de água evapotranspirada na unidade de tempo e de área, por uma cultura de baixo porte, verde, cobrindo totalmente o solo, de altura uniforme e sem deficiência hídrica (ALLEN et al., 1998; REICHARDT & TIMM, 2004). E a  $ET_C$  é a evapotranspiração máxima de uma cultura em condições ideais de disponibilidade de água no solo (ALLEN et al., 1998), sendo relacionada à evapotranspiração de referência  $ET_0$ , mediante um coeficiente de cultura  $K_c$ .

O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) é obtido experimentalmente através da relação entre a evapotranspiração da cultura ( $ET_C$ ) e a evapotranspiração potencial ( $ET_0$ ) (DOORENBOS & PRUIT, 1977), sendo um indicador de grande significado físico e biológico, uma vez que depende da área foliar, arquitetura da planta, cobertura vegetal e transpiração da planta (DENMEAD e SHAW, 1962; JENSEN, 1969; WRIGHT, 1982; ALLEN et al., 1994; ALLEN et al., 1998, MEDEIROS et al., 2001), e ainda, sofre influência com a presença de plantas daninhas (VILLA NOVA et al., 2002). O valor de  $K_c$  depende do método de estimativa de  $ET_0$  utilizado na sua determinação (MEDEIROS et al., 2005). Segundo ARRUDA et al. (2000), a determinação do  $K_c$  para



o cafeeiro em função das diferentes condições brasileiras, demanda maior experimentação agronômica e, igualmente, maior diversidade climática.

O  $K_c$  é definido, de acordo com ALLEN et al. (1998), como:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} = \frac{ET_{cb} + ET_s}{ET_o} = K_{cb} + K_s \quad (2)$$

Onde:

$ET_c$ : Evapotranspiração da cultura;

$ET_{cb}$ : Evapotranspiração basal da cultura;

$ET_s$ : Evapotranspiração do solo;

$ET_o$ : Evapotranspiração de referência;

$K_{cb}$  e  $K_s$ : componentes de  $K_c$  respectivas à transpiração da cultura (coeficiente basal de cultura) e a evaporação do solo.

NUTMAN (1937, 1941), na África, e FRANCO & INFORZATO (1950), no Brasil, foram, possivelmente, os primeiros pesquisadores que buscaram quantificar as necessidades hídricas do cafeeiro, com as primeiras determinações de  $K_c$  feitas por PEREIRA (1957) e WALLIS (1962).

GUTIERREZ e MEINZER (1994) realizaram uma pesquisa no Havai e obtiveram  $K_c$  de 0,58 para cafeeiros com aproximadamente 12 meses de idade, com valores médios de 0,75 e 0,79 no período entre 24 e 48 meses de idade. Em outra pesquisa realizada em Campinas, considerou-se a idade e a densidade de plantas, obtendo valores iguais a 0,6; 0,7 e 0,8 em lavouras com até 12 meses, 0,8; 0,9 e 1,0 em lavouras entre 12 e 36 meses, e iguais a 1,0; 1,1 e 1,2, com idade superior a 36 meses para densidades de 2500 plantas  $ha^{-1}$ , 3300 plantas  $ha^{-1}$  e 6700 plantas  $ha^{-1}$ , respectivamente (SANTINATO et al., 1996). ARRUDA et al. (2000) obtiveram valores de  $K_c$  entre 0,73 e 0,75 nos primeiros anos de idade da planta, e entre 0,87 e 0,93 aos sete e oito anos, respectivamente, para a região de Pindorama.

Para cafeeiros cujas plantas possuem altura de 2 a 3 m, em clima subúmido, onde o manejo é realizado de maneira adequada, ALLEN et al. (1998) indicam  $K_c$  entre 0,90 e 0,95 e entre 1,05 e 1,10, respectivamente, na ausência e na presença de plantas daninhas, com a evapotranspiração de referência estimada pela equação de Penman-Monteith.

MARIN et al. (2005) encontraram, em cafeeiros adultos (5 anos de idade) e densidade de 4.000 plantas  $ha^{-1}$ ,  $K_{cb}$  médio igual a 0,78 e  $K_c$  variando de 0,6 a 1,0. VILLA NOVA et al. (2002), trabalhando com cafeeiros com idade entre 15 e 40 meses,

encontraram valores de  $K_c$  entre 0,092 e 1,184 e de  $K_{cb}$  entre 0,076 e 1,036, para valores de área foliar (AF) variando entre  $0,665 \text{ m}^2$  e  $8,53 \text{ m}^2$ , a partir do balanço de água “*in situ*”, de  $ET_0$  calculada pelo método do tanque classe A e considerando a evapotranspiração da entrelinha equivalente à  $ET_0$ .

RIGHI (2004) obteve valores de  $K_c$  entre 1,04 e 1,30 em experimento conduzido em Piracicaba com cafezal adensado (3,5 m x 0,9 m) e idades de 1 a 2 anos, sendo que, os resultados obtidos foram altamente dependentes da umidade do solo.

FARIA & REZENDE (1997) apresentam valores aproximados de  $K_c$  para cafeeiros baseados em experimentos e acompanhamento de campo, em lavouras irrigadas do Triângulo Mineiro, nordeste de Minas Gerais e oeste da Bahia. Tais coeficientes de cultura para fins manejo de irrigação estabelecidos em função da densidade e idade das plantas são: 0,6; 0,7; 0,8 e 0,9 para plantas de 0 a 1 ano, 0,8; 0,9; 1,0 e 1,1 de 1 a 3 anos, e 1,0; 1,1; 1,2 e 1,3 com mais de 3 anos, para densidades de 2500; 3333; 6666 e 13333 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , respectivamente.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização das Plantas e Condições de Cultivo

O ensaio foi conduzido no período de agosto de 2005 a julho de 2006, utilizando-se plantas de *Coffea arabica* L. das cultivares Mundo Novo (MN), Obatã (OB) e Ouro-Verde (OV), cultivadas sob condições de sequeiro na Região de Mococa (21°28'S, 47°01'O e altitude de 663 m), no Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico do Agronegócio do Nordeste Paulista. O solo da área está classificado como Argissolo Vermelho eutrófico de textura média (EMBRAPA, 1999), cujos dados de análise laboratorial são apresentados nas tabelas 1 e 2. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, tropical de altitude com inverno seco e verão úmido e quente (RUSSO Jr., 1980). As áreas e os espaçamentos adotados foram de 1,0 ha e 3,6 x 2,0 m; 0,4 ha e 2,5 x 1,0 m; e 0,3 ha e 3,5 x 1,0 m, respectivamente para as cultivares MN, OB e OV. As bordaduras foram proporcionais a cada área das cultivares, sendo o mínimo de 2 linhas de plantio. Na tabela 3 são apresentados alguns dados biométricos observados em 06/01/06 como a altura e diâmetro da copa do cafeeiro, a cobertura vegetal proporcionada pela cultura e a estimativa do índice de área foliar (IAF) (FAVARIN et al., 2002). Para tais dados foram realizadas cinco repetições estimando-se as medias e o erro padrão médio, sendo que o IAF foi estimado pela equação 1 utilizando-se as médias de altura e diâmetro da copa. A estimativa do IAF da cultivar OB não foi realizada, pois ocorreu decote da parte aérea do cafeeiro no dia 18/11/05, e a equação 1 não é aplicável para copas de formatos não cônicos.

Foram realizadas amostragens de solo a cada 0,2 m até a profundidade de 1,0 m para caracterizar as propriedades físicas nas áreas correspondentes a cada cultivar. A análise química do solo foi realizada até a profundidade de 0,6 m, considerando-se que a profundidade efetiva do sistema radicular atinge cerca de 0,7 m (SAKAI et al., 2000). Os tratamentos culturais, tais como, capina, adubação e aplicação de defensivos, foram realizados seguindo as recomendações de FAZUOLLI et al. (1998) e RAIJ et al. (1996).

Amostras indeformadas de solo foram coletadas a cada 0,20 m até a profundidade de 0,6 m, com cinco repetições, e submetidas à câmara de pressão de Richards (RICHARDS, 1949) para a obtenção das curvas características dos solos das cultivares OB e MN (Figura 2), uma vez que as áreas são contíguas, e, outra representativa da área da cultivar OV (Figura 3).

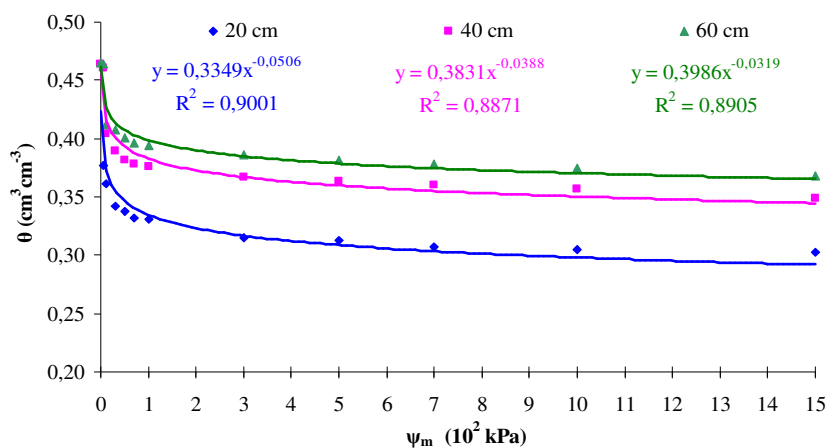


| CTC   | V%   |
|-------|------|
| 196,1 | 5,6  |
| 181,5 | 8,6  |
| 112,3 | 21,6 |
| 87,5  | 56,6 |
| 81,4  | 48,4 |
| 65,8  | 48,3 |
| 83,4  | 54,4 |
| 75,7  | 67   |
| 55,9  | 60,7 |

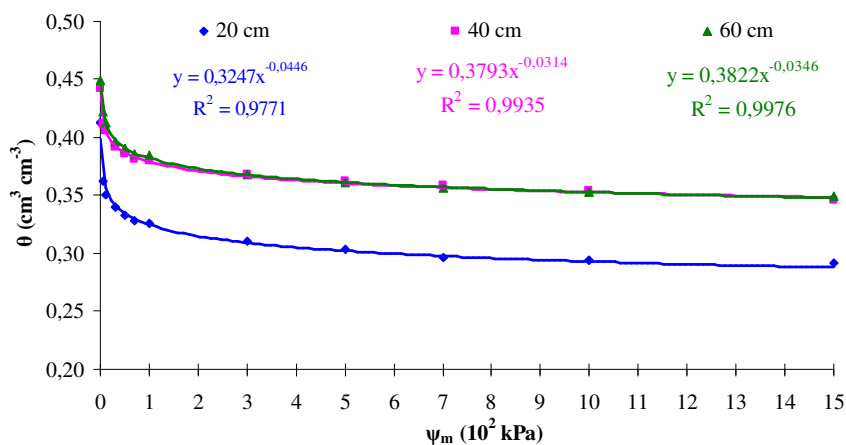
**Tabela 3** – Valores médios de altura, diâmetro da copa, cobertura vegetal e índice de área foliar para as cultivares MN, OB e OV em Mococa, SP, em 06/01/06.

| Cultivar | H           | DC          | Cveg         | IAF'                           |
|----------|-------------|-------------|--------------|--------------------------------|
|          | .....m..... |             | %            | m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> |
| MN       | 2,20 ± 0,07 | 1,64 ± 0,10 | 53,49 ± 2,13 | 4,20                           |
| OB*      | 0,80 ± 0,03 | 1,29 ± 0,07 | 54,32 ± 1,91 | -                              |
| OV       | 2,33 ± 0,07 | 1,47 ± 0,05 | 47,83 ± 1,18 | 3,88                           |

H: Altura da planta; DC: Diâmetro da copa; Cveg: Cobertura vegetal; IAF': Índice de área foliar estimado (FAVARIN et al., 2002); \* Cafeeiro decotado (18/11/05).



**Figura 2** - Curvas características de retenção de água no solo das profundidades de 20, 40 e 60 cm para as áreas correspondentes às cultivares OB e MN.



**Figura 3** - Curvas características de retenção de água no solo das profundidades de 20, 40 e 60 cm para a área correspondente à cultivar OV.

## 3.2 Parâmetros Edafoclimáticos

### 3.2.1 Dados climáticos, balanço hídrico e consumo de água

Durante o experimento, foram coletados dados de temperatura do ar, precipitação, radiação global, umidade relativa e velocidade do vento, proveniente de Estação Meteorológica Automática (EMA) situada a aproximadamente a 500 m das áreas experimentais. A EMA pertence ao Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas – CIIAGRO do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. A  $ET_0$  foi estimada em base diária pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), pela seguinte equação:

$$ET_{0(PM)} = \frac{0,409 \cdot \Delta \cdot (Rn - G) + \gamma \cdot (900/T + 273) \cdot V \cdot (e_s - e)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot V)} \quad (3)$$

Onde:

$ET_{0(PM)}$ : evapotranspiração de referência pelo método de PM,  $\text{mm d}^{-1}$ ;

Rn: radiação líquida,  $\text{MJ. m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ;

G: fluxo de calor no solo,  $\text{MJ. m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ;

T: temperatura média do ar,  $^{\circ}\text{C}$ ;

V: velocidade média do vento a 2 m de altura,  $\text{m s}^{-1}$ ;

( $e_s - e$ ): déficit de pressão de vapor, kPa;

D: curva de pressão de vapor,  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;

g: constante psicrométrica,  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$  (SMITH, 1990); e

900: fator de conversão.

Para o monitoramento a umidade do solo e estimativa da variação do armazenamento de água no solo foi utilizada a sonda de capacitância Diviner 2000 da Sentek avaliando os valores a cada 0,1 m até 1,0 m de profundidade.

A evapotranspiração da cultura ( $ET_C$ ) diária e a média mensal foram calculadas através de balanço de massas de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular (balanço hídrico), conforme LIBARDI (2005), levando-se em consideração a variação de armazenamento de água no solo ( $\Delta h$ ) entre as leituras semanais e as precipitações (P) totalizadas no período, por meio da seguinte equação:

$$ET_C = \Delta h - P - I - D - AC \quad (4)$$

Para o cálculo  $ET_C$ , a irrigação (I) não foi considerada nos cálculos, visto que o sistema de irrigação proposto encontrava-se inoperante. A drenagem (D) foi considerada somente quando as precipitações somadas ao balanço hídrico de campo excediam o valor da AD do solo.

A variação de armazenamento de água no solo foi calculada aplicando-se a regra de Simpson (Equação 5) (LIBARDI, 2005), considerando-se a profundidade efetiva radicular de 70 cm (L), conforme SAKAI et al. (2000).

$$h_L = \int_0^L \theta(Z) dZ \cong \frac{\Delta Z}{3} [\theta(Z_0) + 4\theta(Z_1) + 2\theta(Z_2) + 4\theta(Z_3) + 2\theta(Z_4) + \dots + 2\theta(Z_{2m-2}) + 4\theta(Z_{2m-1}) + \theta(Z_{2m})] \quad (5)$$

Onde:

h: armazenamento de água até a profundidade L (mm);

L: profundidade efetiva do sistema radicular (m);

$\theta$ : umidade do solo avaliada (mm);

Z: espessura da camada do solo (m).

Como não há medida para  $\theta$  em  $Z_0$ , para o cálculo de armazenamento ( $h_L$ ) foi considerado que  $\theta$  em  $Z_0$  é igual a  $Z_1$ . Obtidos os valores de  $ET_0$  e  $ET_C$ , calculou-se o coeficiente de cada cultivar durante o período em questão.

$$K_c = \frac{ET_C}{ET_0} \dots\dots\dots(6)$$

Onde:

$ET_C$ : evapotranspiração da cultura calculado pelo balanço hídrico (LIBARDI, 2005) em condições variáveis de disponibilidade hídrica do solo.

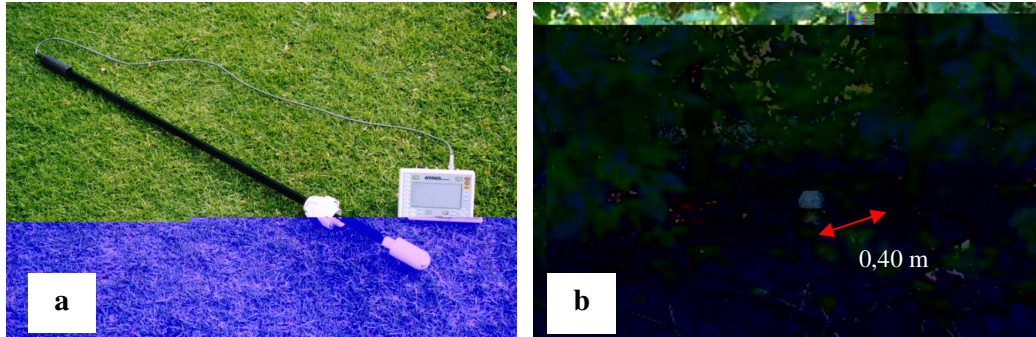
$ET_0$ : evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith (Equação 3).

### 3.2.2 Umidade do solo

A umidade do solo foi determinada por sonda de capacitância de baixa frequência modelo Diviner 2000 da Sentek, (Figura 4a). Para realização das leituras de umidade no solo foram instalados quatro tubos para acesso da sonda em cada uma das áreas de cada cultivar (Figura 4b). As determinações de umidade foram feitas nas profundidades de 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 e 1,0 m e a uma distância de 0,4 m do ramo ortotrópico principal (GOPAL & VASUDEVA, 1973). Para quantificar as variações na umidade do solo, as medidas foram realizadas em intervalos semanais,



no período da manhã, de agosto de 2005 a julho de 2006. Foi utilizado a curva de calibração padrão do Diviner, uma vez que ANDRADE Jr. et al. (2006) em Latossolo Amarelo e SILVA et al. (2006) em Argissolo Vermelho Amarelo obtiveram resultados consistentes e não diferiram significativamente à curva padrão, além disso, no cálculo do balanço hídrico utilizou-se a diferença entre duas leituras consecutivas de umidade.



**Figura 4** – Equipamento utilizado para monitoramento da umidade do solo: a. Sonda de umidade Sentek modelo Diviner 2000; b. Tubo de acesso da sonda de umidade Sentek.

### 3.3 Potencial da Água na Folha na Antemanhã ( $\Psi_{am}$ ) e ao Longo do Dia ( $\Psi_a$ )

O potencial da água nas folhas dos cafeeiros na antemanhã foi determinado entre 4:00 e 5:00 horas e ao longo do dia ( $\Psi_a$ ) em intervalos variáveis de 1,5 a 2,0 horas utilizando-se uma bomba de pressão tipo Scholander (SCHOLANDER *et al.*, 1965) (Figura 5). Foram utilizadas para as medidas somente folhas totalmente expandidas e não danificadas, do terceiro ou quarto par a partir do ápice de ramos plagiotrópicos do terço médio superior das plantas. As leituras foram realizadas coletando-se 4 folhas de 4 diferentes plantas próximas aos tubos de acesso da sonda Diviner 2000, totalizando 16 leituras por cultivar. Para evitar possíveis alterações nos resultados, as folhas retiradas das plantas foram colocadas imediatamente em câmara úmida e levadas para avaliação.



**Figura 5** - Bomba de pressão tipo Scholander

### **3.4 Avaliações Fenológicas e Parâmetros de Produção**

#### **3.4.1 Uniformidade de produção**

A uniformidade de produção com relação ao estágio de maturação dos frutos foi estimada pela contagem do número de frutos verdes, cerejas e passas/secos presentes em 10 ramos próximos a cada tubo de acesso da sonda de umidade Sentek, totalizando 40 ramos por cultivar. A contagem foi realizada na época da colheita e expressa como porcentagem do total de frutos colhidos por ramo.

#### **3.4.2 Produtividade do cafeeiro**

Para a obtenção de parâmetros produtivos, a produção final foi avaliada 20 plantas de cada cultivar utilizada nos experimentos e colhida sob a forma de derriça em peneira, de modo a evitar queda dos frutos no chão. O processamento do café recém colhido foi realizado pelo método da via seca em terreiro. Para tal, a produção de café, em diferentes estádios de maturação (verde, cereja e passas/secos) de cada planta foram separadas e acondicionadas em sacos de tela de náilon, os quais foram postos para secar ao sol por vários dias, com constante revolvimento ao longo do período. Após a secagem, procedeu-se o beneficiamento dos frutos para remoção da casca e do pergaminho.

A produção nos diferentes tratamentos foi expressa em  $\text{kg planta}^{-1}$  de café beneficiado. O rendimento no benefício, em porcentagem, foi calculado pela relação entre o peso de café beneficiado e o de café seco no terreiro (café em coco).

Os valores de peneira média foram, por sua vez, determinados de acordo com metodologia estabelecida por KRUG (1940), utilizando-se 20 amostras por cultivar, cada uma delas com 400 gramas de café beneficiado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Condições Ambientais

A temperatura média mensal do ar oscilou entre a mínima de 13,3°C em setembro de 2006 e a máxima de 28,3°C em outubro de 2005. A temperatura média para o período compreendido entre agosto de 2005 e julho de 2006 foi de 21,9°C (Figura 6), a qual pode ser considerada dentro da faixa de temperatura média adequada para o bom desenvolvimento vegetativo e produtivo do cafeeiro, visto que médias anuais entre 18° e 22°C são os limites mais indicados ao *Coffea arábica* L. (ALFONSI, 2000; ASSAD, 2004; CAMARGO et al., 1977). ALÈGRE (1959) menciona temperaturas médias entre 18° e 21° C, sem grandes variações sazonais, como os limites mais recomendados para *Coffea arábica* L. CAMARGO (1985b) relata que, em regiões com temperatura média anual acima de 23°C, o desenvolvimento e a maturação dos frutos se aceleram, acarretando perdas freqüentes na qualidade do produto. Já a ocorrência freqüente de temperaturas máximas superiores a 34°C causa o abortamento de flores e, conseqüentemente, perda de produtividade (CAMARGO, 1985a; PINTO et al., 2001; SEDIYAMA et al., 2001). No entanto, a ocorrência de temperaturas dentro da faixa de 28°C e 33°C, considerada como o intervalo de temperatura que acarreta em redução na produção de folhas e na atividade fotossintética do cafeeiro (DRINNAN & MENZEL, 1995), foi um evento pouco sucedido, podendo ser desconsiderado no presente experimento.

De modo geral, as precipitações mensais foram bem típicas da região quando comparadas com anos anteriores. As menores precipitações acumuladas mensais ocorreram nos meses de agosto de 2005 e maio de 2006 (zero e 3 mm, respectivamente), e as maiores nos meses de janeiro e fevereiro de 2006 (272 e 258 mm, respectivamente) (Figura 6). A precipitação acumulada anual (agosto de 2005 a julho de 2006) foi de 1318 mm, estando, portanto, dentro da faixa considerada ótima por ALÈGRE (1959) para o desenvolvimento do cafeeiro, de 1200 e 1800 mm de chuvas ao ano, embora inúmeros trabalhos indiquem que o cafeeiro cresce sob ampla faixa de precipitações (DAMATTA & RENA, 2002). CAMARGO (1985a), analisando dados comparativos do balanço hídrico climatológico de várias regiões produtoras no Brasil, sugere que a produção econômica do cafeeiro arábica suporta bem deficiências hídricas de até 150 mm anuais, principalmente quando a estação coincide com a maturação e a

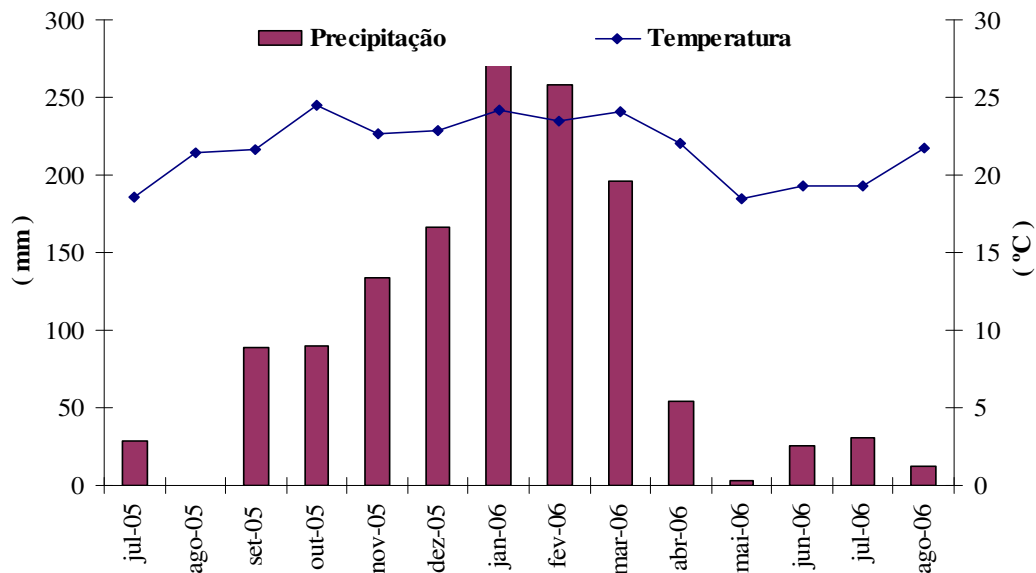
colheita. Contudo, o mesmo autor afirma que, mesmo com deficiência anual de 100 mm, se esta coincidir com o período de frutificação, pode ser observada quebra na produtividade. Portanto, o veranico ocorrido em janeiro de 2006 pode ter contribuído para a redução da produção e da qualidade do café, visto que ele ocorreu em época de alta demanda de água para a granação dos frutos, no qual períodos de secas podem ocasionar chochamento dos grãos (CAMARGO & CAMARGO, 2001).

Conforme a figura 7, o valor de umidade relativa (UR) média do ar foi da ordem de 70%, oscilando entre a máxima de 80% em fevereiro de 2006, e a mínima de 53% em agosto de 2005. Segundo DAMATTA & RENA (2002), os estômatos dos cafeeiros são altamente sensíveis à redução da umidade relativa, cujo aumento deste parece concorrer para a maximização da eficiência do uso de água (taxa de fotossíntese por unidade de água transpirada), via manutenção estomática, permitindo assim, um influxo adequado de CO<sub>2</sub> à fotossíntese, contudo, sem haver perda substancial de água, via transpiração. A transpiração é determinante primária do balanço de energia e do status hídrico da planta, sendo sua taxa determinada principalmente pela condutância estomática e por duas variáveis físicas: radiação e déficit de pressão de vapor. A radiação global média, por sua vez, foi da ordem de 18,28 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> durante o ano de coleta de dados meteorológicos, variando de 15,24 a 21,22 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, para os meses de junho e janeiro de 2006, respectivamente.

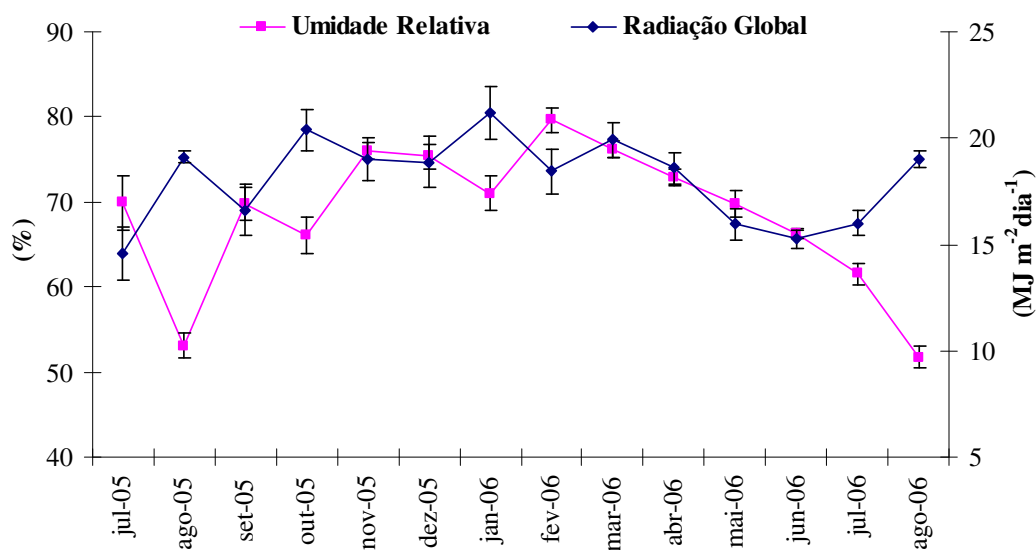
Na figura 8 estão ilustradas as curvas de déficit de pressão de vapor do ar e evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>), cujos valores estão fortemente relacionados entre si, isto porque o movimento da água é governado pelo gradiente de potencial da água entre o solo e o ar, e uma vez que os ramos são expostos ao déficit de pressão de vapor do ar (isto é, a um baixo potencial de água), tem início um fluxo de água através da planta. Os valores de déficit de pressão de vapor variaram de 0,65 kPa em maio de 2006 a 1,24 kPa em agosto de 2005, e a média para o período de um ano foi de 0,81 kPa. A ET<sub>0</sub> apresentou a mesma tendência, com valores entre 2,78 mm dia<sup>-1</sup> em maio de 2006 a 4,56 mm dia<sup>-1</sup> em agosto de 2005, e médio de um ano de 3,56 mm dia<sup>-1</sup>. SILVA (2004) em pesquisa realizada Mococa, encontrou valor médio de ET<sub>0</sub> igual a 3,37 mm dia<sup>-1</sup>, corroborando com o valor obtido neste trabalho.

A figura 9 apresenta os valores de velocidade do vento média mensal ao longo de um ano, que variaram de 1,15 m s<sup>-1</sup> no mês de maio de 2006 a 2,51 m s<sup>-1</sup> no mês de setembro de 2005, sendo 1,78 m s<sup>-1</sup> a média para o período de um ano. Segundo CARAMORI et al. (1986) com mudas de café arábica, cultivares Mundo Novo e Catuaí,

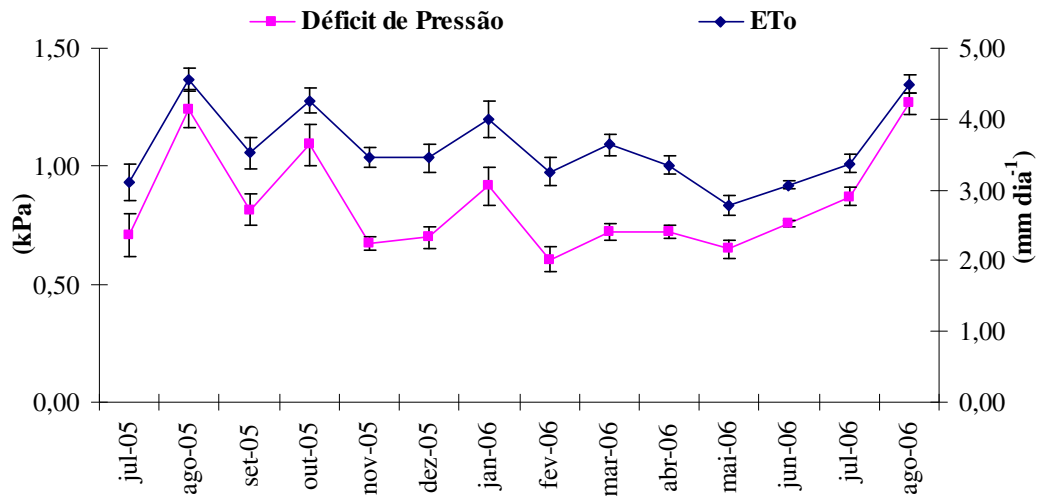
submetidas a  $3 \text{ m s}^{-1}$  de velocidade do vento sofreram danos mecânicos severos, sendo que a partir de  $2 \text{ m s}^{-1}$  houve menores incrementos de altura e comprimento de internódios. GUTIERREZ et al. (1994), trabalhando com plantas adultas de café, no campo, diagnosticaram que ventos moderados, ao redor de  $2,5 \text{ m s}^{-1}$ , provocariam aumentos no déficit de pressão de vapor do ar e fechamento estomático das plantas resultando na redução da transpiração.



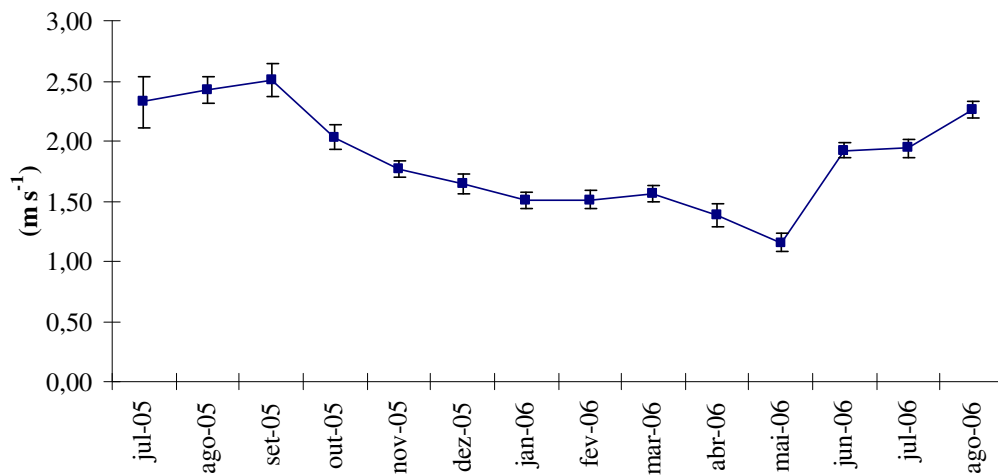
**Figura 6** - Valores de precipitação mensal acumulada (mm) e temperatura do ar média mensal (°C) ocorridas durante o período do ensaio realizado em Mococa-SP.



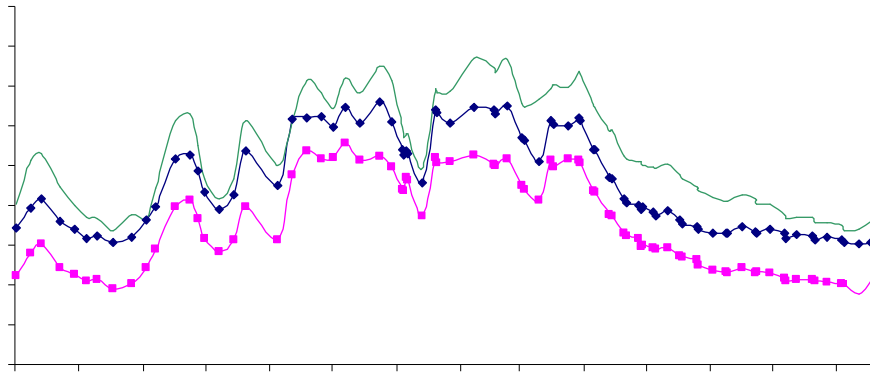
**Figura 7** - Valores médios mensais da umidade relativa do ar (%) e radiação global (MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) ocorridas durante o período do ensaio realizado em Mococa-SP.



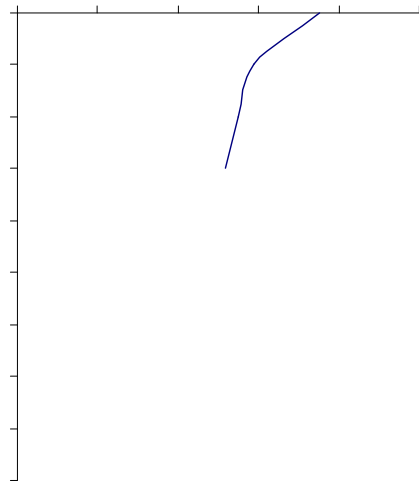
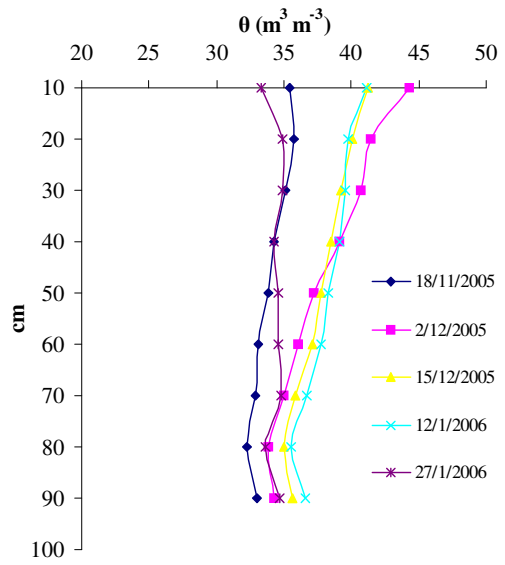
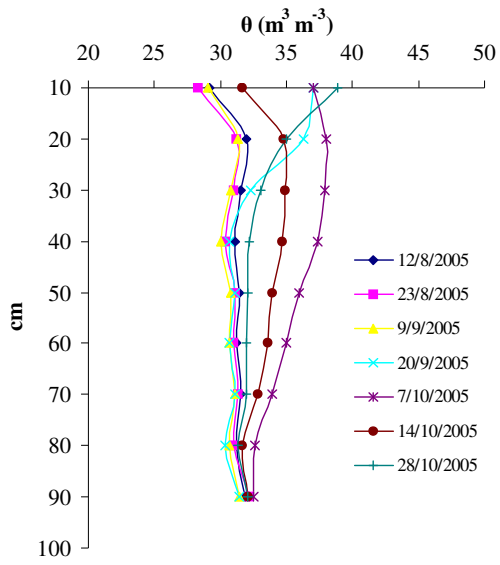
**Figura 8** - Valores médios mensais de déficit de pressão de vapor do ar (kPa) e ET<sub>0</sub> (mm dia<sup>-1</sup>) calculada pelo método de Penman Monteith (ALLEN et al., 1998), ocorridos durante o período do ensaio realizado em Mococa-SP.

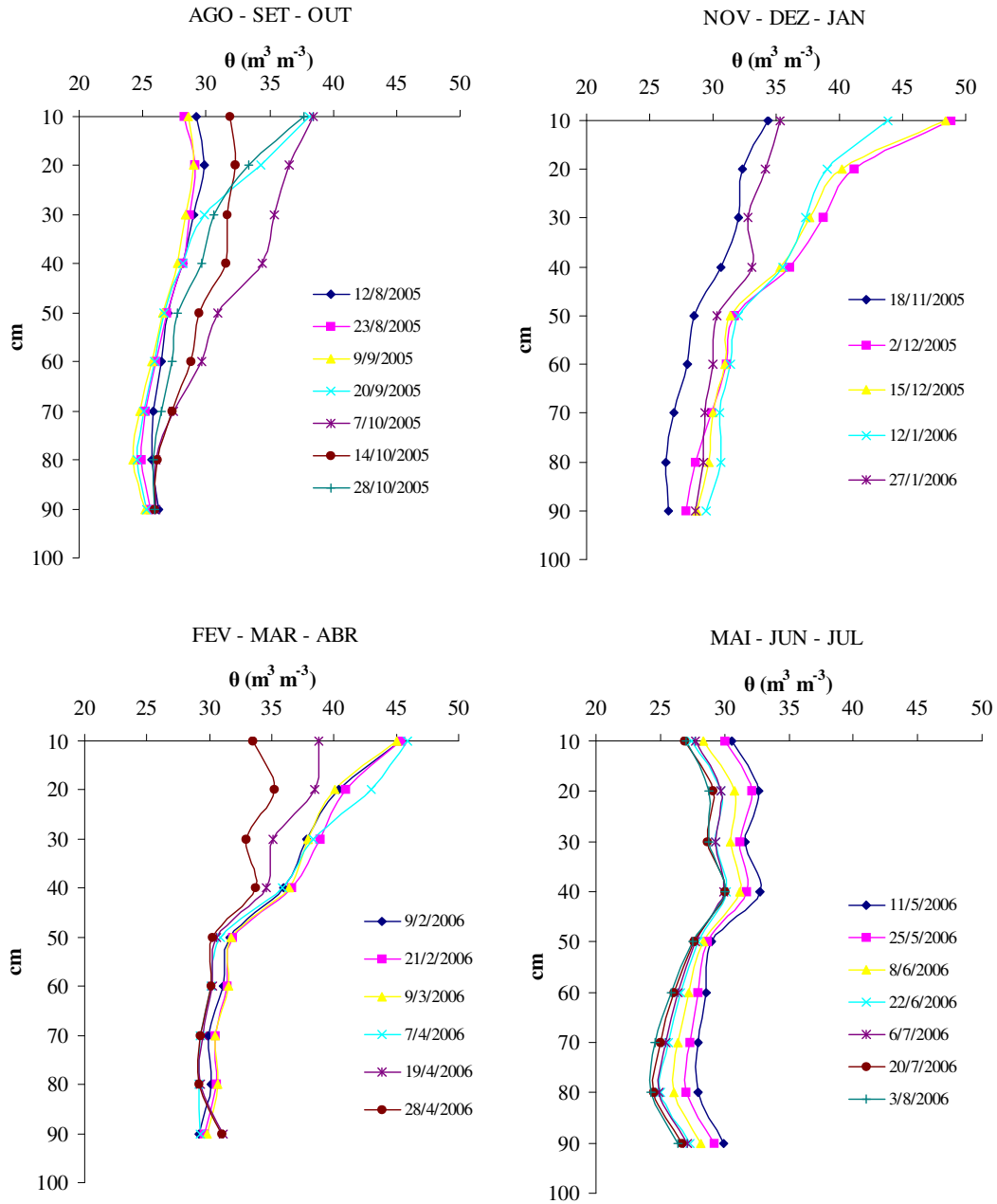


correspondentes a cada cultivar. Os valores médios mensais de armazenamento de água no solo durante o período experimental foram da ordem de 118,76, 107,29 e 132,42 mm para as áreas correspondentes às cultivares MN, OB e OV, respectivamente. As variações de armazenamento de água no solo ao longo do tempo foram em função do volume de precipitações e da demanda evaporativa para a atmosfera, quando o teor de água variou de 88,54 mm em agosto de 2005 a 153,39 mm em janeiro de 2006, de 68,97 mm em agosto de 2005 a 143,95 mm em dezembro de 2005 e de 92,95 mm em agosto de 2005 a 171,97 mm em fevereiro de 2006, para as áreas com as cultivares MN, OB e

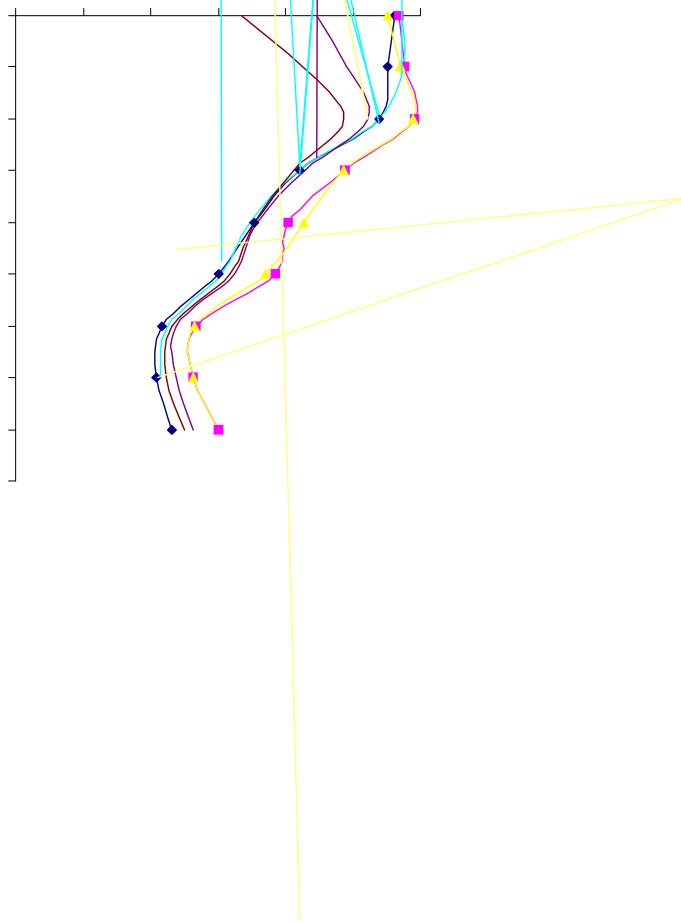
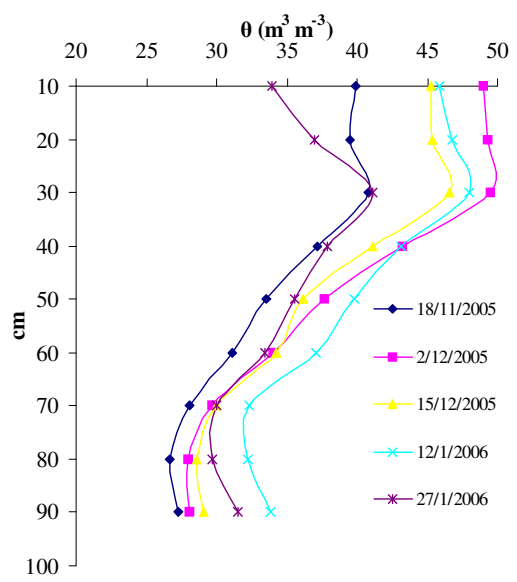
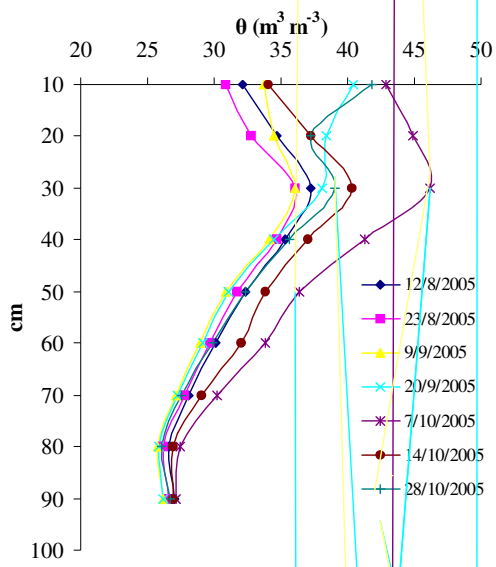








**Figura 12** - Variação da umidade ao longo do perfil do solo durante o ensaio realizado com o cultivar OB no município de Mococa-SP.

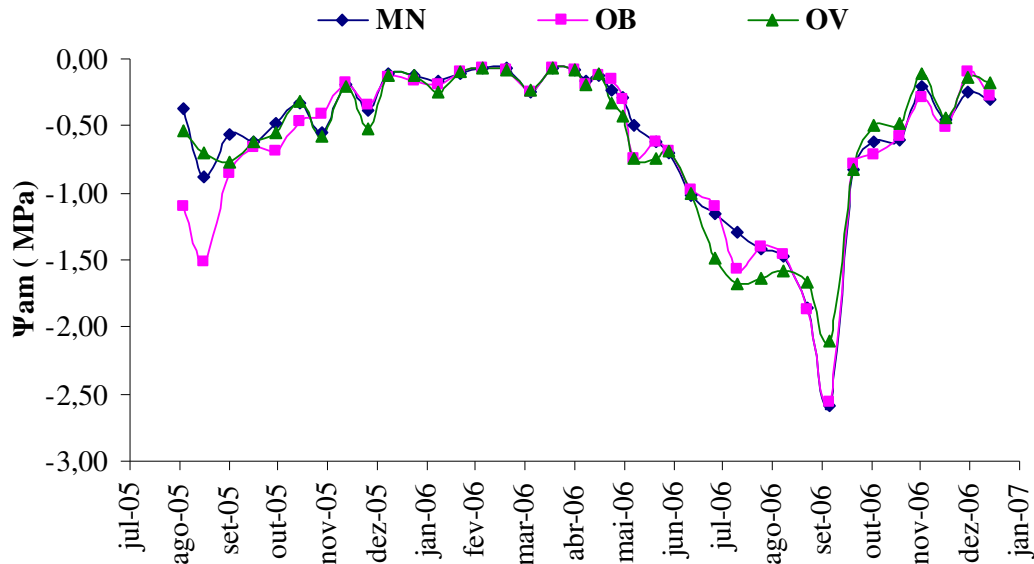


MN, OB, e OV, respectivamente. Tal fato pode ser atribuído a resposta da planta ao longo período de deficiência hídrica no solo devido ao baixo volume de precipitações (Figura 6), e conseqüentemente baixos níveis de umidade do solo (Figura 10). Entretanto, estes valores foram favoráveis ao cultivo do cafeeiro arábica, uma vez que coincidiram com a fase de indução e maturação das gemas florais, importante na uniformidade das floradas (CAMARGO & CAMARGO, 2001). Há informações controversas na literatura sobre o potencial de água na folha da planta, observando-se valores de  $\Psi_{am}$  desde -0,8 (CRISOSTO et al., 1992) até -2,56 MPa (SCHUCH et al., 1992), os quais estimulariam o florescimento do cafeeiro após irrigação.

A partir de setembro de 2005 houve gradativo aumento no volume de

(2003) em pesquisa realizada com cafeeiros no Distrito Federal encontraram valores de potencial hídrico foliar, na antemã, próximos a -4,0 MPa não diferindo muito dos potenciais medidos durante o dia. Entretanto, SILVA (2004) relata que valores baixos de  $\Psi_{am}$  (-2,5 a -2,8 MPa) sem irrigação, reduzem significativamente o número de flores quando comparadas as plantas irrigadas, com reflexo na produção final. O mesmo autor obteve valores de  $\Psi_{am}$  de -1,1 a -1,6 MPa, com suspensão da irrigação por 60 dias, os quais foram mais efetivos na sincronização das floradas do cafeeiro, aliando uniformidade com boa produção. No presente estudo com as cultivares MN e OV, os valores de  $\Psi_{am}$  no final da indução e maturação das gemas florais e início da florada foram de aproximadamente -0,8 MPa, portanto, abaixo do intervalo desejável citado por SILVA (2004), porém, sem causar desuniformidade na maturação. Diante deste contexto os valores de  $\Psi_{am}$  parecem convergir para alta dependência do estado hídrico do solo, da densidade e profundidade do sistema radicular (BERGONCI et al., 2000), e das características edafoclimáticas do local.

As diferenças de  $\Psi_{am}$  observadas entre as cultivares, principalmente nos períodos críticos de déficit hídrico no solo, podem ser atribuídas a situações variáveis de taxa de evapotranspiração (DENMEAD & SHAW, 1962), o que pode corresponder a variabilidade das cultivares a uma adaptação aos períodos de seca (MEINSER et al., 1992).

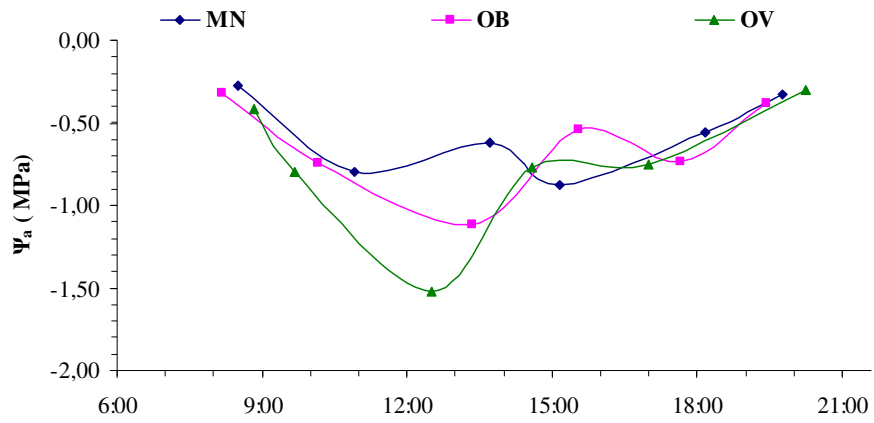


**Figura 14** - Variação do potencial de água na planta medidos na antemã durante um ano para as cultivares MN, OB e OV.

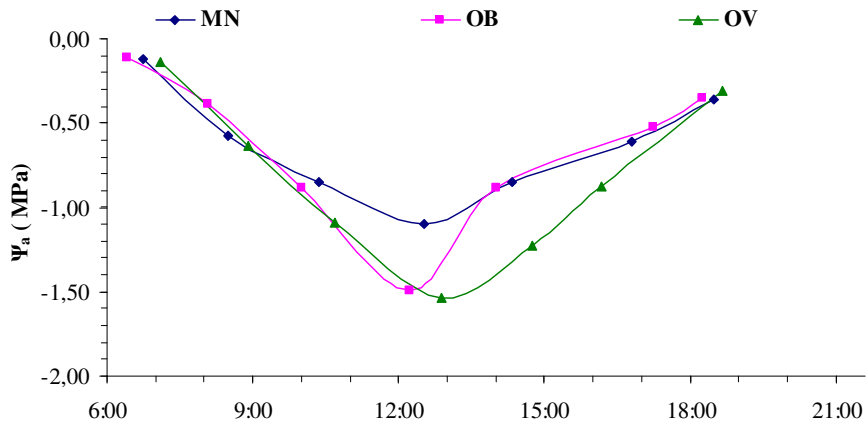
#### 4.5 Variação do Potencial de Água na Planta ao Longo do Dia

Nas figuras 15, 16 e 17 são apresentados os valores de potencial da água na planta durante o período diurno, para os dias 03 de fevereiro, 13 de abril e 28 de abril de 2006, referentes ao final da granação e início da maturação dos frutos. Nos dois primeiros dias avaliados havia boa disponibilidade hídrica do solo, pois ocorreram precipitações de 72 e 53 mm no período de cinco dias que antecederam a leitura. Essas precipitações promoveram armazenamento de água no solo da ordem de 97,5; 92,9 e 93,2% no dia 03/02/2006 e de 93,6; 94,5 e 97,2% no dia 13/04/2006, respectivamente nas áreas com as cultivares MN, OB e OV. Por outro lado, na semana que antecedeu a terceira avaliação não houve precipitação, resultando em valores de armazenamento de água no solo de 73,6; 71,0 e 80,7%, respectivamente nas áreas com as cultivares MN, OB e OV. Os menores valores nos três dias avaliados foram da ordem de -1,54 MPa (leituras realizadas próximo as 13 h) todos observados na cultivar OV. GOLBERG et al. (1988) verificaram que a fotossíntese foliar é pouco afetada quando o potencial da água foliar apresenta valores maiores que -1,5 MPa, sob condições de campo. MAZZAFERA & CAVALHO (1987) complementam afirmando que mesmo neste nível de potencial observado no presente trabalho não difere muito de solos com 50% de disponibilidade hídrica. No entanto, as leituras foram realizadas quando o potencial da água na folha na antemã indicava valores próximos de -0,1 MPa, cujos valores sugerem que as plantas possuíam boa disponibilidade hídrica no solo, e, portanto, não estavam em condições de estresse hídrico.

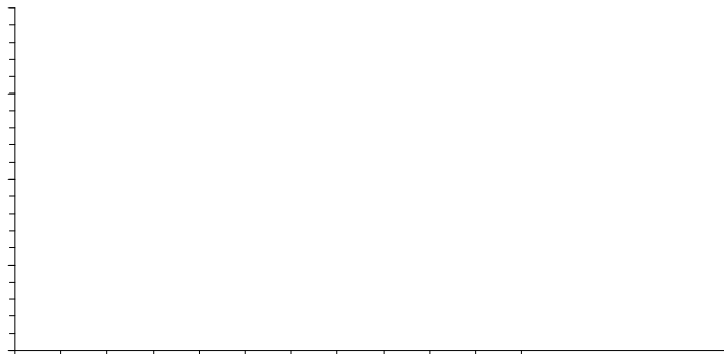
As variações medidas de potencial da água na planta ao longo do dia 03/02/06 (Figura 15), e especialmente a partir das 13 h, são aparentemente reflexos da fotossensibilidade das plantas, pois neste período houve uma variação do nível de radiação incidente, visto que o céu estava parcialmente nublado a nublado. Segundo SILVA (2005), os tecidos das plantas estão hidratados ao máximo pouco antes do amanhecer quando não há demanda hídrica ao passo que as medidas feitas ao longo do dia são realizadas sob ocorrência da transpiração, consumindo mais nitrogênio e são mais susceptíveis as variações no clima, como radiação incidente, temperatura do ar e déficit de pressão de saturação do ar.



**Figura 15** - Variação do potencial de água na planta do dia 03/02/2006.



**Figura 16** - Variação do potencial de água na planta do dia 13/04/2006.



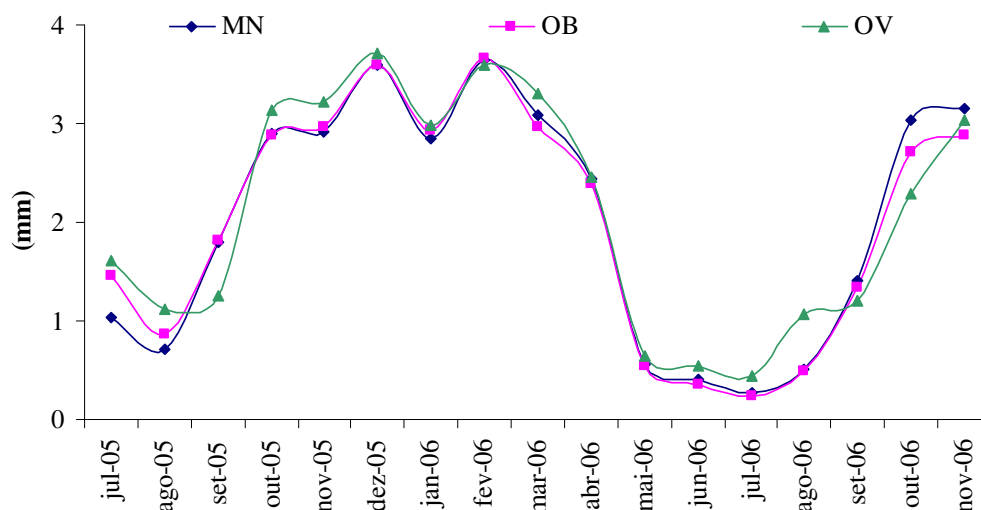
#### 4.6 Consumo de Água pelo Cafeeiro – Evapotranspiração da Cultura ( $ET_C$ )

A figura 18 apresenta os valores médios mensais de  $ET_C$  observados durante o período experimental (agosto de 2005 a julho de 2006). Observa-se que as três cultivares apresentaram comportamentos semelhantes, sendo que os maiores valores ocorreram em dezembro de 2005 (OV: 4,5 mm dia<sup>-1</sup>; MN: 4,2 mm dia<sup>-1</sup>; e OB: 4,1 mm dia<sup>-1</sup>) e fevereiro de 2006 (OV: 4,7 mm dia<sup>-1</sup>; MN: 4,2 mm dia<sup>-1</sup>; e OB: 4,5 mm dia<sup>-1</sup>), e os menores valores em agosto de 2005 (OV: 0,7 mm dia<sup>-1</sup>; MN: 0,5 mm dia<sup>-1</sup>; e OB: 0,4 mm dia<sup>-1</sup>) e julho de 2006 (OV: 0,4 mm dia<sup>-1</sup>; MN: 0,2 mm dia<sup>-1</sup>; e OB: 0,2 mm dia<sup>-1</sup>). Portanto, os valores médios mensais de  $ET_C$  apresentaram maior amplitude de variação que os estimados por OLIVEIRA et al. (1995), cujos extremos foram de 2,52 a 3,50 mm dia<sup>-1</sup>, com média de 2,91 mm dia<sup>-1</sup> em cafeeiros irrigados com dezesseis anos de idade e em cafeeiro recepado a variação foi de 1,55 a 2,01 mm dia<sup>-1</sup>, com média de 1,72 mm dia<sup>-1</sup>. No entanto o período analisado por estes autores foi de apenas quatro meses (junho a setembro). MANTOVANI et al. (2001) obtiveram como resultados de  $ET_C$  do cafeeiro irrigado por pivô central nas regiões Norte do Espírito Santo e Extremo Sul da Bahia, em fase de produção, valores da ordem de 0,6 a 1,0 mm dia<sup>-1</sup> no período de menor demanda atmosférica e de 4,5 a 4,8 mm dia<sup>-1</sup> no período de maior demanda. Os valores de consumo de água observados por estes autores estão próximos aos máximos obtidos neste experimento, enquanto os valores mínimos foram um pouco menores que os observados no presente trabalho. Entretanto, estes dados são provenientes de cafeeiros irrigados, diferentemente do experimento realizado em Mococa. Já o consumo anual estimado para a região de Mococa foi de 762, 763 e 800 mm (considerando o período de agosto de 2005 a julho de 2006) para MN, OB e OV, respectivamente, e também foram menores que os estimados por MANTOVANI et al. (2001) com variação de 870,1 a 1011,7 mm. Os valores de consumo anual de água representaram uma eficiência do seu uso da ordem de 57% para MN e OB, e 60% para OV. Tal fato poderia ser esperado, uma vez que no presente experimento a disponibilidade de água as plantas foram condicionadas exclusivamente à ocorrência e distribuição das precipitações ao longo do período. No entanto, observou-se que, mesmo em janeiro de 2006, quando a precipitação acumulada atingiu 272 mm (Figura 6), período com baixíssima precipitação (9 a 26 de janeiro). Assim, pode-se caracterizar este período como veranico, uma vez que coincidiu com a estação de alta demanda evaporativa. E desta forma pode-se afirmar que a distribuição das chuvas durante o mês,



foi o fator de maior relevância dentro deste contexto, visto que, analisando e comparando com dados da precipitação acumulada para o mês de dezembro de 2005 (166 mm ou 60% da precipitação de janeiro de 2006), e, apesar do menor volume de precipitações acumulado, estas foram melhores distribuídas ao longo do mês, gerando valores de  $ET_C$  maiores que no mês subsequente.

Não houve variação significativa de  $ET_C$  entre as cultivares, uma vez que as diferenças de cobertura vegetal eram mínimas, para mesma condição de disponibilidade hídrica no solo.

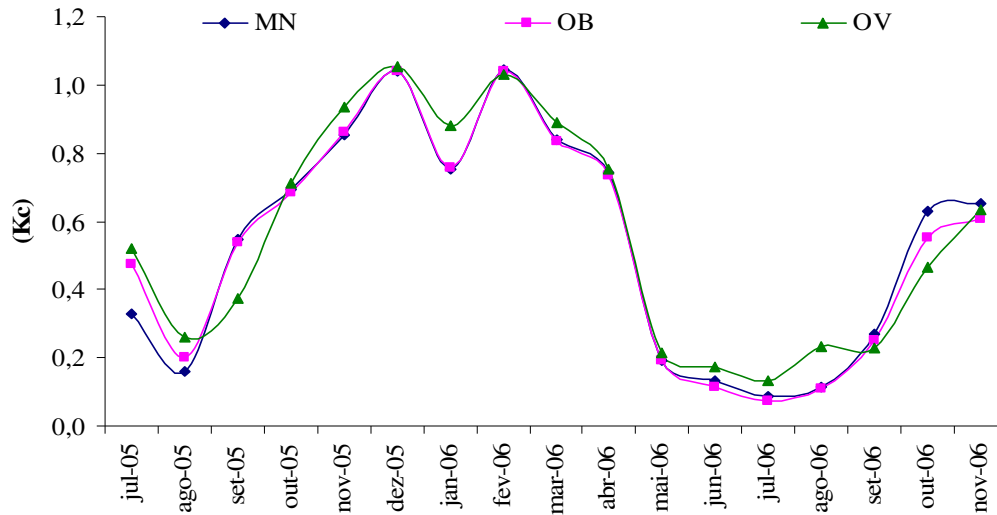


**Figura 18** - Variação do consumo de água ( $ET_C$ ) pelas três cultivares de café durante o período de um ano.

#### 4.7 Coeficiente de Cultura do Cafeeiro (Kc)

Na figura 19, pode-se observar os resultados de Kc ao longo do período experimental, com valores médios da ordem de 0,82; 0,81 e 0,83 no período de setembro (início do florescimento) a abril (início da maturação dos frutos) e de 0,13; 0,12 e 0,19 no período de maio a agosto (fases intermediária e final de maturação e de repouso das plantas), para MN, OB, e OV, respectivamente. Tais valores são menores que os recomendados por ALLEN et al. (1998) para cafeeiros adultos (1,05 a 1,10 e 0,90 a 0,95 para áreas com presença ou ausência de ervas daninhas, respectivamente). Já ARRUDA et al. (2000) estimaram Kc para a região de Pindorama, SP, observando valores de 0,87 a 0,93 para cafeeiros com 7 e 8 anos de idade. Estes autores realizaram os experimentos utilizando-se de sistemas de irrigação, e, portanto sob condições

hídricas mais favoráveis que as do presente estudo. As menores estimativas de Kc ocorreram no mês de julho de 2006, e foram da ordem de 0,09, 0,07 e 0,13 para MN,



**Figura 19** - Variação do coeficiente de cultura (Kc) dos três cultivares de café durante o período de um ano.

#### 4.8 Produção e Qualidade.

A figura 20 apresenta os valores de produção médio em quilogramas de café em coco e beneficiado por planta, somente para as cultivares OV e MN. Resultados da cultivar OB não foram obtidos em função do manejo da copa. Os valores médios foram de 2,19 kg planta<sup>-1</sup> e de 2,04 kg planta<sup>-1</sup> de café em coco e de 1,15 kg planta<sup>-1</sup> e de 1,03 kg planta<sup>-1</sup> de café beneficiado para as cultivares OV e MN, respectivamente. Em termos de porcentagem de café beneficiado em relação ao em coco, os valores foram de 52% e 50% para a cultivar OV e MN, respectivamente, considerado uma boa relação de benefício segundo MÔNACO (1960).

A produtividade avaliada foi de 2861 e 3285 kg ha<sup>-1</sup> de café beneficiado, para MN e OV, respectivamente. A cultivar MN possuía duas plantas por cova, sendo esse fato considerado nos cálculos de produtividade. Tais valores indicam que o período de estudos realizados coincidiu com o ano de alta produtividade, considerando a bienalidade de produção dos cafeeiros (RENA & MAESTRI, 1985; PICINI, 1998; CAMARGO & CAMARGO, 2001). Estes valores de produtividade representaram mais que o dobro ao observado por VICENTE et al. (2003) em estudo com cafeeiros arábica cv obatã, cultivado sob condições irrigadas no cerrado de Minas Gerais. Porém, menores que os picos de altas produtividades, de 4500 kg ha<sup>-1</sup>, obtidos por PICINI et al. (1999), em Mococa, com a cultivar Mundo Novo conduzido sem complementação de

água. De acordo com estes últimos autores, entre os anos de 1966 e 1974, a cultura do cafeeiro alternou altas e baixas produtividades, com os extremos de 4500 e 1020 kg ha<sup>-1</sup>.

Sabe-se que a produção do cafeeiro pode ser prejudicada por períodos de seca prolongada ou não, quando estas ocorrem em alguns estádios do ciclo reprodutivo. Entretanto, da fase de colheita ao abotoamento da planta, a umidade do solo pode reduzir bastante e aproximar-se do ponto de murcha permanente, sem maiores problemas à cafeicultura (CAMARGO, 1985a). CAMARGO et al. (1977) relata que o cafeeiro arábica tolera bem e pode ser beneficiado por deficiências hídricas de até 150 mm ano<sup>-1</sup>, principalmente se estas coincidirem com o período de dormência da planta, não se estendendo até a fase de floração e início da frutificação (THOMAZIELLO et al., 2000). No período de dormência e indução e maturação das gemas, ocorreram baixos valores de umidade no solo no final de agosto e início de setembro de 2005 (Figura 10), embora valores de  $\Psi_{am}$  não tenham sido tão baixos (cerca de -0,8 MPa (MN) no final de agosto e -0,7 MPa (OV) no início de setembro) (Figura 14), corroborando de certa forma com trabalhos como o de RODRIGUES et al. (2003) no qual concluíram que o cafeeiro pode iniciar o processo de floração com altos potenciais hídricos nas folhas ( $\Psi_{am} = -0,14$  MPa e  $\Psi_a = -0,7$  MPa), porém, independentemente da ocorrência de deficiência hídrica no solo. SOARES et al. (2005) evidenciaram que o efeito do estresse hídrico não quebrou a dormência dos botões florais pelo déficit aplicado por suspensão da irrigação, para potenciais de -0,8; -1,2 e -1,9 MPa, tendo ocorrido somente em função da queda brusca de temperatura após a ocorrência de precipitações, mesmo com potencial da folha de -0,2 MPa. Portanto, parece admissível considerar que a indução floral e, por conseguinte a uniformidade de produção e produtividade é resultante de uma complexidade de fatores que podem atuar isoladamente ou da interação destes, ou seja, o comportamento fenológico é função de fatores do ambiente, tais como, suprimento de água e nutrientes, temperatura do ar e radiação solar (SILVA et al., 2003a), como também da umidade relativa, velocidade do vento e déficit de pressão de vapor. Neste experimento em Mococa, para este período específico, estes fatores convergiram para uma situação de adversidade e possivelmente de indução e uniformidade da florada, sendo que os resultados da figura 21 mostram uniformidade da produção muito mais pronunciada para a cultivar MN do que a OV. Desta forma, dentro deste contexto, não é possível definir qual o fator de maior influência na indução e uniformidade de florada, visto que vários fatores submeteram os cafeeiros a condições adversas.

IAFFE et al. (2001) comenta que vários autores encontraram dificuldade em relacionar significativamente a produção com a deficiência de água ou precipitações. Segundo ARRUDA & GRANDE (2003), tal fato é devido principalmente à alternância de produção do cafeeiro, ao padrão de produtividade ascendente e descendente ao longo da vida da cultura, da ocorrência simultânea do crescimento vegetativo e reprodutivo e por serem esses sorvedouros de assimilados internos da planta concorrentes entre si.

A figura 22 apresenta a produção média por ramo, em número de grãos, para as cultivares MN e OV, no qual os frutos foram classificados e separados em cereja, passa/seco, e verde. Observa-se que a produção por ramo foi muito superior na cultivar OV do que a cultivar MN, isto se deve ao fato de que havia maior ramificação (secundária e terciária) na cultivar OV. No entanto, a produção por planta foi semelhante entre as cultivares devido ao fato de que foi considerada a produção por cova, uma vez que a cultivar MN possuía duas plantas por cova, equiparando a produção por área.

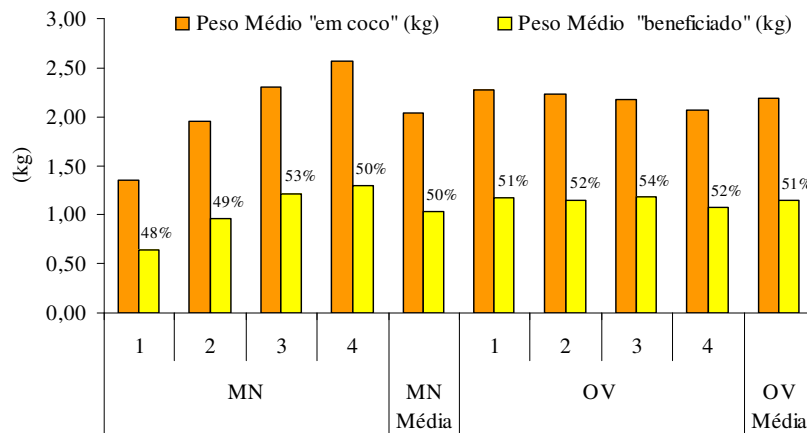
Os valores de peneira média são apresentados na figura 23, no qual houve maior retenção de grãos na peneira 15 (32%) e 17 (31%) para MN e OV, respectivamente. Sendo a peneira média determinada por KRUG (1940) de 15,5 e 16 para MN e OV, respectivamente. Estes valores estão abaixo do seu potencial genético conforme GUERREIRO FILHO et al. (2006), cujos valores são peneira média 17 para as duas cultivares. Os baixos valores de peneira média provavelmente são provenientes de vários fatores, dentre eles o veranico observado em janeiro, com altas temperaturas do ar e excesso de radiação que forçaram o amadurecimento, os quais não permitem ao fruto desenvolver-se plenamente, passando rapidamente do estágio verde a maduro, sem o devido acúmulo de massa.

Segundo CAMARGO (1987), nas condições da região Centro-sul, o déficit hídrico na fase de chumbinho (outubro a dezembro) atrasa o crescimento dos frutos, resultando peneira baixa (grãos indesejados para a comercialização), além de reduzir a produtividade. O tamanho final do grão cereja depende acentuadamente da precipitação ocorrida no período de 10 a 17 semanas após o florescimento, período esse considerado de expansão rápida do fruto (KARASAWA et al. 2002). No presente trabalho ocorreu veranico de 17 dias em janeiro. Tal fato pode ter interferido nos fatores de produção da cultura. A expansão celular que delimita o tamanho do fruto, que ocorre nessa fase, é sensível ao déficit hídrico (RENA & MAESTRI 1986).

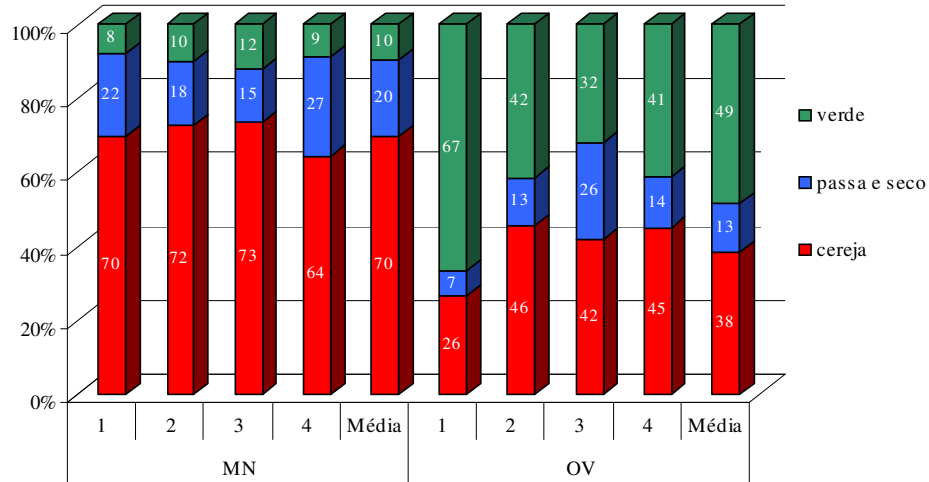
Conforme VIEIRA (1982), em casos extremos de deficiência hídrica, as raízes não conseguem suprir de água a parte aérea da planta em quantidade suficiente para atender à demanda atmosférica. Deste modo, os estômatos fecham-se, provocando a murcha das folhas para reduzir as perdas de água. Por outro lado, não havendo umidade suficiente no solo, a absorção de nutrientes necessários ao metabolismo vegetal também é prejudicada, refletindo em queda de produção.

Segundo OLIVEIRA (1995), o fechamento estomático atua restringindo a assimilação do carbono; com isso, a absorção de energia luminosa pode ocorrer em excesso para fixação de carbono, podendo resultar em danos no aparelho fotossintético, limitando o processo da fotossíntese como um todo e, conseqüentemente, a produtividade.

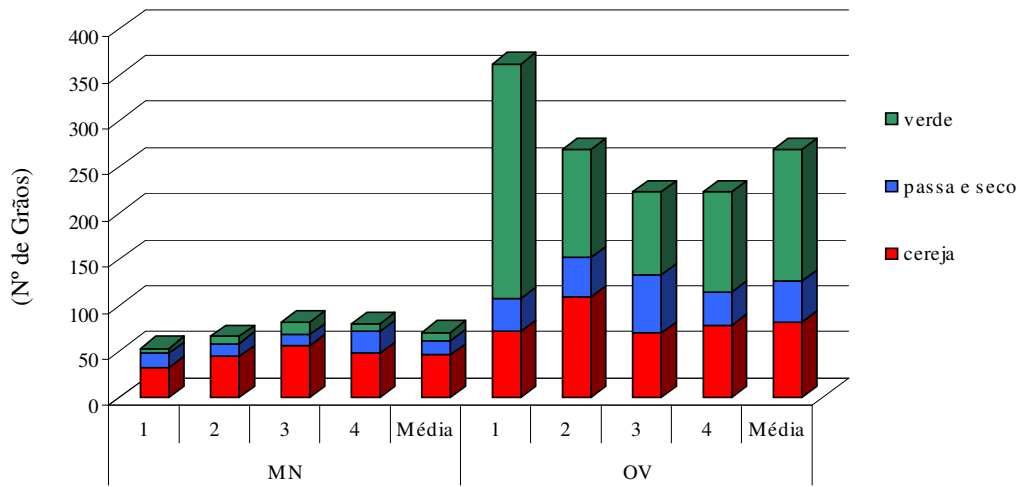
A irrigação pode ser uma ferramenta fundamental no ciclo de produção do café, visto que é passível de manejo, possibilitando complementar a necessidade hídrica nas fases críticas da cultura, uma vez que as precipitações seguem um ciclo sazonal muitas vezes definido, porém podem ser aleatórios no tempo e variáveis em volume.



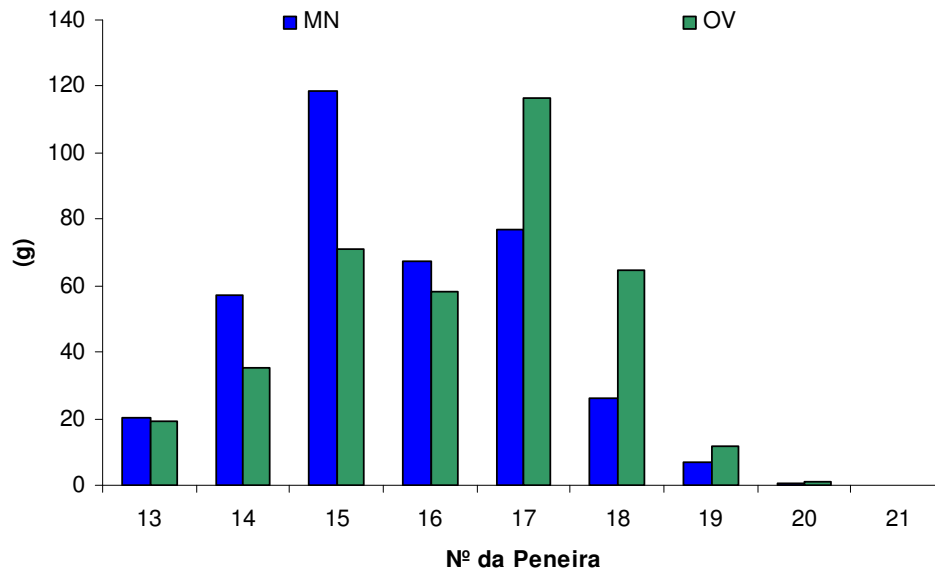
**Figura 20** - Produção média em quilogramas por planta (em coco e beneficiado) para cada cultivar estudada, e porcentagem de café beneficiado em relação ao em coco.



**Figura 21** - Uniformidade de produção com relação ao estágio de maturação dos frutos, para as cultivares MN e OV, cuja classificação foi realizada separando os frutos em cereja, passa e seco, e verde, expressa em porcentagem (%).



**Figura 22** - Número médio de grãos por ramo das cultivares MN e OV, classificados em frutos em cereja, passa e seco, e verde.



**Figura 23** – Distribuição porcentagem média de grãos conforme o número da peneira dos cultivares MN e OV em Mococa, SP.



## 5 CONCLUSÕES

Os dados obtidos permitem concluir que:

- a) A  $ET_C$  entre as três cultivares estudadas foi semelhante. O consumo hídrico no período experimental de um ano foi de 762, 763 e 800 mm, respectivamente para MN, OB e OV.
- b) Os valores médios de  $K_c$  para cada cultivar foram da ordem de 0,82; 0,81 e 0,83 no período de setembro (início do florescimento) a abril (início de maturação dos frutos) e de 0,13; 0,12 e 0,19 no período de maio a agosto (fases intermediária e final de maturação e de repouso das plantas), para MN, OB, e OV, respectivamente.
- c) As diferenças de produções por área entre as cultivares MN e OV não foram expressivas. Entretanto, houve diferenças de produção por planta e ramos, devido as diferenças genéticas e de densidade de plantio entre as cultivares.
- d) A produção aparentemente não foi severamente prejudicada pela falta da irrigação, porém não houve enchimento total dos grãos, cuja estimativa da peneira média foi de 15,5 e 16 para MN e OV, respectivamente.
- e) Não foram encontradas evidências da influência das variedades de café, da textura do solo, da densidade populacional, da cobertura vegetal sobre a eficiência do uso da água.
- f) O consumo de água da cultura foi influenciado pelas condições climáticas e pela disponibilidade de água no solo, independente da variedade de café, da textura do solo, da densidade populacional e da cobertura vegetal.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. A história do café – origem e trajetória. [http://www.abic.com.br/scafe\\_historia.html](http://www.abic.com.br/scafe_historia.html), (06 maio 2005).
- ALÈGRE, C. Climates et caféiers d'Arabica. **Agronomie Tropicale**, v.14, p.23-58, 1959.
- ALFONSI, R.R. Histórico climatológico da cafeicultura brasileira. Informativo Garcafé. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, p.7-11, 2000.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation e Drainage, Food and Agriculture Organization of the United Nations, paper 56, Rome: 1998, 300p.
- ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PERRIER, A.; PEREIRA, L.S. An update for the definition of reference evapotranspiration. International Commission on Irrigation and Drainage, New Delhi, v.43, n.2, 93p, 1994.
- ALVES, M.E.B. Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. 1999. 94p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ANDRADE, C.L.T., COELHO, E.F., COUTO, L., SILVA, E.L. Parâmetros de solo-água para a engenharia de irrigação e ambiental. In: XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Manejo de Irrigação. Poços de Caldas: UFLA/SBEA, p.1-45, 1998.
- ANDRADE JUNIOR, A. S.; SILVA, C. R.; ROSSINI, D.; CAVALCANTE, R. F.; FIGUEIREDO FILHO, L. G. M.; SOUZA, C. F. Calibração de sensor de capacitância para determinação do teor de água em um latossolo. In: Resumos do Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1., 2006, João Pessoa. Resumos. CD-Rom.
- ANGELOCCI, L.R. Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: L.R. Angelocci, p. 71-104, 2002.
- ANGELOCCI, L.R., VALANCOGNE, C. Leaf area index and water flux in apple trees. **Journal of Horticultural Science**. Ashford, v.68, n. 2, p.299-307, 1993.
- ANTUNES, R.C.B.; RENA, A.B.; MANTOVANI, E.C.; ALVARENGA, A.P.; COSTA, L.C.; DIAS, A.S.C. Influência da fertirrigação com nitrogênio e potássio nos componentes vegetativos do cafeeiro Arábica em formação. In: Resumos do Simpósio Brasileiro de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Poços de Caldas, v.2, p.802-806, 2000.
- ARAÚJO, J.A.C. Análise do comportamento de uma população de café Icatu sob condições de irrigação por gotejamento e quebra-vento artificial. 1982. 87p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba.
- ARRUDA, F.B.; GRANDE, M.A. Fator de resposta da produção do cafeeiro ao déficit hídrico em Campinas. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.139-145, 2003.

- ARRUDA, F.B.; IAFFE, A.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R.O. Resultados anuais do coeficiente de cultura do cafeeiro em um ensaio em Pindorama/SP. In: Anais do Simpósio de pesquisa dos Cafés do Brasil, Poços de Caldas, v.2, p.790-793, 2000.
- ASSAD, E.D.; PINTO, H.S., ZULLO JR, J.; AVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064, 2004.
- BARRETO, C.V.G.; SAKAI, E.; ARRUDA, F.B.; SILVA, E.A.; PIRES, R.C.M. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro irrigado por gotejamento em Campinas. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.4, p.641-647, 2006.
- BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H; BERLATO, M.A.; SANTOS, A.O. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.8, p.1531-1540, 2000.
- BERNARDO, S.; Manual de irrigação. UFV, Imprensa Universitária. 6ª edição. 657p. 1995.
- BIETO, J.A.; TALON, M. Fisiologia y bioquímica vegetal. Madrid: Interamericana, McGraw-Hill, p.537-553, 1996.
- BONOMO, R. Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais. 1999. 224p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Viçosa.
- BOYER, J.S. Plant productivity and environment. **Science**, v. 218, p.443-448, 1982.
- BULL, R.A. Studies on the effect of mulch and irrigation on root and stem development in *Coffea arabica* L.-I: changes in the root system induced by mulching and irrigation. Turrialba, San José, v.13, n.2, p.96-115, 1963.
- CAMARGO, A.P. Balanço hídrico, florescimento e necessidade de água para cafeeiro. In: Simpósio sobre Manejo de Água na Agricultura, Campinas. Anais. Campinas: Fundação Cargill, p.53-90, 1987.
- CAMARGO, A.P. DE & CAMARGO, M.B.P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, V.60, n.01, p.65-68, 2001.
- CAMARGO, A.P.; GROHMANN, L.; DESSIMONI, M.L.; TEIXEIRA, A.A. Efeitos na produção de café de épocas de rega e de supressão de água, por meio de cobertura transparente (barçaça). In: Resumos do XI Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Londrina, p.62-64, 1984.
- CAMARGO, A.P. Florescimento e frutificação do café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n.7, p.831-839, 1985a.
- CAMARGO, A.P. O clima e a cafeicultura no Brasil. Informe Agropecuário, v.11, p.13-26, 1985b.
- CAMARGO, A.P.; ALFONSI, R.R.; PINTO, H.S.; CHIARINI, J.V. Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em áreas de cerrado. In: Simpósio sobre cerrado, Brasília, p.89-120, 1977.

- CAMARGO, A.P.; PEREIRA, A.R. Agrometeorology of coffee crop. Geneva: World Meteorological Organization, 92p, 1994.
- CAMARGO, M.B.P. Exigências bioclimáticas e estimativa de produtividade para quatro cultivares de soja no Estado de São Paulo. 1984. 96p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba.
- CARAMORI, P.H.; CAVIGLIONE, J.H.; WREGE, M.S.; GONÇALVES, S.L.; FARIA, R.T.; ANDROCIOLI FILHO, A.; SERA, T.; CHAVES, J.C.D.; KOGUISHI, M.S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, p.486-494, 2001.
- CARAMORI, P.H.; OMETTO, J.C.; VILLA NOVA, N.A.; COSTA, J.D. Efeitos do vento sobre mudas de cafeeiro Mundo Novo e Catuaí vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.21, n.11, p.1113-1118, 1986.
- CARR, M.K.V. The water relations and irrigation requirements of coffee. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 37, p.1-36, 2001.
- CARVALHO, C. H. M.; COLOMBO, A.; SCALCO, M.S.; MORAIS, A.R. de. Evolução do crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado e não irrigado em duas densidades de plantio. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 243-250, 2006.
- CASTILLO, Z.J. & LOPEZ, A.R. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz em la floracion Del cafeto. **Cenicafé**, v.17, n.2, p.51- 60, 1996.
- CHRISTOFÍDIS, D. Água: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil. Brasília, p.18, 2006.
- COELHO, E.F. & OR, D. Modelo de distribuição de água e de potencial matricial no solo sob gotejamento com extração de água por raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.225-34, 1999.
- COELHO, E.F.; OR, D.; ANDRADE, C. de L.T. Avaliação de regime permanente em irrigação por gotejamento e posicionamento de sensores de umidade e de potencial matricial no bulbo molhado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.11, p.1327-33, 1995.
- CONAB. Cafés do Brasil, DF. 2006. <http://www.conab.gov.br>. (10 Outubro 2006).
- CONEJO, J.G.L. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Brasília, 2005, 134p.
- COSTA, A.B.G.; STEINMETZ, S. Uso da termometria infravermelho para caracterizar a necessidade de irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). I. Desempenho baseado na diferença de temperatura com uma parcela de referência. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, Anais, p.108-109, 1995.
- COSTA, L.C.; MORISON, J.; DENNETT, M. Effects of water stress on photosynthesis, respiration and growth of Faba Bean (*Vicia faba* L.) growing under field conditions. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, p.9-16, 1997.

COSTA, L.C. Agrometeorologia. In: MANTOVANI, E.C.; COSTA, L.C. (ed.). In: Resumos do I Workshop Internacional sobre Manejo Integrado das Culturas e Recursos, Brasília, p.3-21, 1998.

CRISOSTO, C.H.; GRANTZ, D.A.; MEINZER, F.C. Effects of water déficit on flower opening in coffee (*Coffea arabica* L.). **Tree physiology**, Victória, v.10, n.2, p.127 – 139, 1992.

DAMATTA, F.M.; RENA, A.B. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). O estado da arte e tecnologia na produção de café. Viçosa: UFV,

parâmetros climatológicos. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.2, p.235-240, 2001.

FAZUOLLI, L.C.; GALLO, P.B.; CERVellini, G.J.; BARROS, I.; VAN RAIJ, B. Café. In: Instruções agrícolas para as principais culturas – Boletim 200. (J.I. Fal; M.B.P. Camargo; M.A. Pizzinato; J.A. Betti; A. M. Melo; I.C. De Maria; A.M.C. Furlani eds.). 6ª ed. Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 396p, 1998.

FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; LESSI, R.; OLIVEIRA, M. Efeito da utilização de granulados de solo (Baysiston, Bayfidan e Temik) na produção de cafeeiros irrigados por gotejamento com quatro níveis de irrigação. In: Resumos do I Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, Uberlândia, p.45-48, 1998a.

FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; LESSI, R.; YAMADA, A.; SILVA, V.A. Efeito do déficit hídrico e do uso de granulados de solo para recuperação de lavouras irrigadas por sistema de gotejamento. In: Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Poços de Caldas, v.2, p.97-99, 1998b.

FERNANDES, A.L.T.; DRUMOND, L.C.D. Cafeicultura irrigada: alternativas para vencer o déficit hídrico. **Cafeicultura, a revista do cafeicultor**, Patrocínio, v.1, n.3, p.21-24, 2002.

FERREIRA, J.A.S.; SILVA, B.B.; SOBRINHO, J.E.; MOURA NETO, E.L.; MAIA NETO, J.M. Determinação da resistência estomática do meloeiro através do método de O' Toole & Real. In: Anais do I Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Campina Grande, p.108-109, 1995.

FRANÇA JUNIOR, A.C. Análise de métodos simplificados de estimativa da  $ET_0$  e da sensibilidade das variáveis do cálculo da lâmina de irrigação para a cultura do café. 2003, 87p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FRANCO, C.M.; INFORZATO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solo do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.26, n.9, p.443-478, 1946.

FRANCO, C.M.; INFORZATO, R. Quantidade de água transpirada pelo cafeeiro cultivado ao sol. **Bragantia**, v.10, n.9, p.247-257, 1950.

FREIRE, A.C.F.; MIGUEL, A.E. Disponibilidade de água no solo no período de 1974 a 1984 e seus efeitos na granação, qualidade e rendimento do café nos anos de 1983 a 1984, na região de Varginha – MG. In: Resumos do XI Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Londrina, p.113-114. 1984.

GOLBERG, A.D.; RENARDI, C.; LANNOYE, R.; LEDENT, J.F. Effects and aftereffects of water stress on chlorophyll fluorescence transients in *Coffea canephora* Pierre and *Coffea arabusta* Capot and Aké Assi. **Café Cacao Thé**, France, v.32, n.1, p.1116, 1988.

GOMIDE, R.L. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Poços de Caldas, p.133-238, 1998.

GOPAL, N.H. & VASUDEVA, N. Physiological studies on flowering in Arabica coffee under South Indian conditions. I. Growth of flower buds and flowering. **Turrialba**, v.23, n.2, p.146-153, 1973.

- GOPAL, N.H. Some physiological factors to be considered for stabilization of Arábica coffee production in South Indian Cofee. v.38, p.218-221, 1974.
- GUERREIRO FILHO, O.; FAZUOLI, L.C.; EIRA AGUIAR, A.T. Cultivares de *Coffea arabica* selecionadas pelo IAC: características botânicas, tecnológicas, agronômicas e descritores mínimos. 2006. Artigo em Hypertexto. [http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_2/Cultivares\\_cafe/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/Cultivares_cafe/Index.htm), (17 fevereiro 2007).
- GUISCAFRÉ-ARRILAGA, J; GÓMEZ, L.A. Studies of root system of *Coffea arabica* L.: III – growth and distribution of roots of 21 years old trees in Catalina clay soil. **Journal of agriculture of the University of Puerto Rico**, Rio Piedras, v.26, n.2, p.34-39, 1942.
- GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G.; SOUZA, C.A.S. Cafeicultura. 1ª edição. UFLA/FAEPE, Lavras, 2002. 317p.
- GUTIERREZ, M.V.; MEINZER, F.C. Estimating water use and irrigation requirements of coffee in Hawaii. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.119, n.3, p.653-657, 1994.
- GUTIERREZ, M.V.; MEINZER, F.C.; GRANTZ, D.A. Regulation of transpiration in coffee hedgerows: covariation of environmental variables and apparent responses stomata to Wind and humidity. **Plant Cell Environmental**, v.17, p.1305-1313, 1994.
- HALL, A.E.; CAMACHO-B, S.E.; KAUFMANN, M.R. Regulation of water loss by citrus leaves. **Physiologia Plantarum**, v.33, p.62-65, 1975.
- HUNTER, J.R.; ERICKSON, A.E. Relation of seed germination to soil moisture tension. **Agronomy Journal**, v.44, n.3, p.107-109, 1952.
- IAFFE, A.; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E.; PIRES, R.C.M.; QUAGLIA, L.; CALHEIROS, R.O. Avaliação de variáveis agrometeorológicas na produtividade de café em Campinas, SP. In: Resumos do Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Foz do Iguaçu, 2001.
- IBC - INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. Cultura do café no Brasil: manual de recomendações. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 580p, 1985.
- INFORZATO, R.; REIS, A.J. Desenvolvimento do sistema radicular em diversas fases do crescimento do cafeeiro. Campinas: IAC, 1974.13p. (IAC, Circular, 40).
- JAMES, L.G. Principles of farm irrigation system design. New York: John Wiley & Sons, 1988, 3p.
- JENSEN, M.E. Water consumption by agricultural plants. In: KOSLOWSKI, T.T. (Ed.). Water deficits and plant growth. 2ª edição. New York: Academic Press, 1969. v.2, p.1-22.
- JONES, H.G. Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology. New York: Cambridge University Press, 1992. 428p.
- JORDÃO, C. OLIVEIRA JUNIOR. O. R.; MENDONÇA, P. L. de Irrigação do cafeeiro – recomendações gerais. Monte Carmelo: COOXUPÉ, 1996. 32p.

- KARASAWA S.; FARIA, M.A.; GUIMARÃES, R.J. Influência da irrigação e do parcelamento de fertirrigação sobre a produtividade, rendimento e qualidade do café (*Coffea arabica* L. cv. TOPÁZIO MG-1190). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, Ed. Especial, p.1427-1438, 2002.
- KRUG, C.A. O cálculo da peneira média na seleção do cafeeiro. **Revista do Instituto do Café**, São Paulo, v.15, p.123-127, 1940.
- LEONG, W. Canopy modification and its effects on the growth and yield of *Hevea brasiliensis* Muel. Arg. 1980. 283p. Thesis (Ph.D) – Faculty of Agriculture Sciences of Ghent, Ghent.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. 2ª edição. Piracicaba: P.L. Libardi, 2000. 509p.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005, p.41-277. (Acadêmica; 61)
- LLOYD, J.J. Modelling stomatal responses to environment in *Macadamia integrifolia*. **Australian Journal of Plant Physiology**. v.18, p.649-660, 1991.
- LUZ, M.J.S; BEZERRA, J.R.C.; FARIAS, J.C S. Fator limitante para a expansão da agricultura no Século XXI: Recursos Hídricos. Documentos 135, Embrapa, Campina Grande, p.10-16, 2005.
- MANTOVANI, E.C. Irrigação do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. Viçosa Café - produtividade, qualidade e sustentabilidade, p.263-290, 2000.
- MANTOVANI, E.C.; SOUSA, M.B.A.; SILVA, J.G.F. da; SOARES, A.A. Estudo do consumo de água do cafeeiro em fase de produção, irrigado por pivô central, na Região norte do Espírito Santo e extremo sul da Bahia. In: II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Vitória, v.único, p.48-48, 2001.
- MARIN, F.R. Evapotranspiração e transpiração máxima em cafezal adensado. 2003. 118p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; RIGHI, E.Z.; SENTELHAS, P.C. Evapotranspiration and irrigation requirements of coffee plantation in Southern Brazil. **Experimental Agriculture**, v.41, n.2, 2005.
- MARTINS, C.P.; GOMES, N.M.; VILELA, L.A.A. Avaliação da produtividade, rendimento, maturação e tamanho dos grãos das duas primeiras safras de café irrigado por pivô central, sob diferentes regimes de irrigação. In: Resumos do XXVII Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Rio de Janeiro, p.153-155, 2002.
- MATIELLI, A.; RUGGIERO, S.S.; Agronegócio Café: histórico e tendências. <http://temas.buscaki.com.br/agronegocios/003.htm>, (06 maio 2005).
- MATIELLI, A.; SAN JUAN, R.C.C.; SANTINATO, R.; PEREIRA, E.M. Mapeamento do sistema radicular do cafeeiro. In: Anais do XXII Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 1996, Águas de Lindóia, p.165-166, 1996.
- MATIELLO, J.B. O café: do cultivo ao consumo. São Paulo, Globo, 1991. 320p.



- MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W. R.; ALMEIDA S.R.; FERNANDES, D.R. Cultura do café no Brasil. Novo manual de recomendações. Rio de Janeiro e Varginha, 387, p.2002.
- MATIELLO, J.B. Gosto do meu cafezal. Rio de Janeiro: MAA/SDR/PROCAFÉ, 1997. 262p.
- MATIELLO, J.B.; DANTAS, S.F. de A.; Desenvolvimento do cafeeiro e do sistema radicular, com e sem irrigação, em Brejões (PE). In: Resumos do XIV Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Campinas, p.165, 1987.
- MAZZAFERA, P.; CARVALHO, A. Produção e tolerância à seca de cafeeiros. **Bragantia**, v.46, n.2, p.403-415, 1987.
- MEDEIROS, G.A.; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E. Crop coefficient for irrigated beans derived using three reference evaporation methods. **Agric. and Forest Meteorology**. V.135, p.135-143, 2005.
- MEDEIROS, G.A.; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M. The influence of crop canopy on evapotranspiration and crop coefficient of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agric. Water Manage**. V.49, p.211-224, 2001.
- MEINSER, F.C.; SALIENARA, N.Z.; CRISOSTO, C.H. Carbon isotope discrimination and gas exchange in *coffea arábica* during adjustment to different soil moisture regimes. **Journal Plant Physiol**, v.19, p.171-184, 1992.
- MES, M.G. Studies on the flowering of *Coffea arabica* L. III. Various phenomena associated with the dormancy of the coffee flower buds. **Portugaliae Acta Biologica**, v.5, n.1, p.25-44, 1957.
- MEYER, W.S.; GREEN, G.C. Comparison of stomatal action of orange, soybean and wheat under field conditions. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.8, p.65-76, 1981.
- MOENS, P. Étude ecologique du development génératif et végétatif des burgeons de *Coffea canephora* Pierre: l'initiation florale. Inst. Nat. Étude Agron. Congo (INEAC), Sér. Scientifique, v.96, 1962.
- MÔNACO. L.C. Efeito da lojas vazias sobre o rendimento do café Mundo Novo. **Bragantia**, v.19, n.1, p.1-12, 1960.
- MOREIRA, H.J. Sistema agroclimático para o acompanhamento das culturas irrigadas. Manual prático para o manejo da irrigação. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação. 90p, 1992.
- NAOR, A. Relations between leaf and stem waer potentials and stomatal conductance en tree fiel-grown woody. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v.73, n.4, p.431-436, 1998.
- NJOROGE, J.M. A review of some agronomic investigations on arábica coffe in Kenya. **Kenya Coffee**, v.54, n.629, p.553-567, 1989.
- NOBEL, P.S. Leaf anatomy and water use efficiencie. In: TURNER, N.C.; KRAMER, P.J. (Ed). Adaptation of plants to water and high temperature stress, New York: Willey, 1980. p. 43-55.

- NUTMAN, F.J. Studies on the physiology of *Coffea arabica* L. III. Transpiration rates of whole trees relation to natural environmental conditions. **Annals of Botany**, v.1, p.681-693, 1941.
- NUTMAN, F.J. Studies on the physiology of *Coffea arabica* L. I. Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. **Annals of Botany**, v.1, p.353-357, 1937.
- NUTMAN, F.J. The root system of *Coffea arabica* L. – II: The effect of some soil conditions in modifying the “normal” root system. **Empire Journal of Experimental Agriculture**, Oxford, v.1, p.285-296, 1933.
- NUTMAN, F.J. The root system of *Coffea arabica* – III: The spatial distribution of the absorbing area of the root. **Empire Journal of Experimental Agriculture**, Oxford, v.2, p.293-302, 1934.
- OLIVEIRA, J.G. Acompanhamento da fotossíntese líquida e da cinética de emissão de fluorescência da clorofila a de plantas de café (*Coffea arabica* L.) submetidas a um ciclo de suspensão e restabelecimento da irrigação. 1995. 55p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- PAIVA, C.L. Periodicidade de crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes tensões de irrigação e duas densidades de plantio. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- PASSIOURA, J.B. Root signals control leaf expansion in wheat seedlings growing in drying soils. **Australian Journal of Plant Physiology**. v.15, p.687-693, 1988.
- PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D. Influência da densidade de plantio de cafeeiros sobre a fertilidade do solo. In: Simpósio Internacional sobre Café, Londrina: IAPAR, Anais, p.87-105, 1996.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. Evapotranspiração. Piracicaba, FEALQ, 1997. 183 p.
- PEREIRA, H.C. Field measurements of water use for irrigation control in Kenya coffee. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.49, n.4, p.459-466, 1957.
- PICINI A.G.; CAMARGO, M.B.P. de; ORTOLANI, A.; FAZUOLI, L.C.; GALLO P. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v.58, n.1, p.157-170, 1999.
- PICINI, A.G. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a partir do monitoramento da disponibilidade hídrica do solo. 1998. 132p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J.; ASSAD, E.D.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R.R.; CORAL, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cafeicultura do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, p.495-500, 2001.
- RAIJ, B. van, CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C., 1996. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2ª ed. Instituto Agrônomo (IAC), Campinas. Bol. IAC, 100.

- REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Campinas, Fundação Cargill, 1985, 421p.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; SAUNDERS, L.C.U. Dinâmica da água em solos cultivados com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, p.1-5, 1989.
- REICHARDT, K.; TIM, L.C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processo e aplicações. São Paulo: Manole, 2004. 478p.
- REIS, G.N.; MIGUEL, A.E; OLIVEIRA, J.A. Efeito da irrigação em presença e ausência de adubação NPK, em cafeeiros em produção - Resultado de três produções. Caratinga-MG. In: Anais do XVI Congresso Brasileiro de Pesquisa Cafeeira, Espírito Santo do Pinhal, p.19-21, 1990.
- RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M. et al. (Ed.). Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Potássio e do Fosfato, p.13-85, 1986.
- RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.11, n.126, p.26-40, 1985.
- RENA, A.B.; NACIF, A.P.; GONTIJO, P.T.; PEREIRA, A.A. Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. In: Anais do Simpósio Internacional sobre Café Adensado, Londrina, p.73-85, 1996.
- RENA, A.B.; NACIF, A.P.; GONTIJO, P.T.; PEREIRA, A.A. Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. In: Anais do Simpósio Internacional sobre Café Adensado, Londrina, p.73-85, 1994.
- RENA, A.B.; GUIMARÃES, P.T.G. Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que influenciam. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000, 80p.
- RICHARDS, L.A. Methods of measuring soil moisture tension soil sci. Baltimore, v.68, p.95-112, 1949.
- RIGHI, C.A. Avaliação ecofisiológica do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em sistema agroflorestal e em monocultivo. 2005. 113p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- RIGHI, E.Z. Balanço de energia e evapotranspiração de cafezal adensado em crescimento sob irrigação localizada. 2004. 151p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- RODRIGUES, G.C.; GUERRA, A.F.; NAZARENO, R.B.; SAMPAIO, J.B.; SANZONOWICZ, C.; TOLEDO, P.M.R. Efeito do regime hídrico na floração de *Coffea arabica*, L. cv. Catuaí Rubi MG1192. In: Anais do III Simpósio de Pesquisas de Café do Brasil, Porto Seguro, p.127-128, 2003.
- ROSE, C.W.; STERN, W.R. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as a function of depth and time. **Australian Journal Soil Research**, East Melbourne, v.5, p.11-19. 1969.
- RUSSO JR., M. Dados climáticos auxiliares para planejamento e projeto de sistemas de irrigação. São Paulo: CESP, 1980, 13p.

SAAD, A.M. Uso do tensiômetro no controle da irrigação por pivô central em cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba, 1991. 144p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba.

SÁIZ DEL RIO, J.F.; FERNÁNDES, C.E.; BELLATIVA, O. distribution of absorbing capacity of coffee roots determined by radioactive tracers. **Proceedings of the American Society for Horticulture Science**, Beltsville, v.77, p.240-244, 1961.

SAKAI, E.; GALLO, P.B.; FAHL, J.I.; ARRUDA, F.B.; IAFFE, A.; PIRES, R.C.M.; CALHEIROS, R. O. Efeito do desenvolvimento do sistema radicular na produtividade do cafeeiro enxertado em Mococa, SP. In: Anais do I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Poços de Caldas, v.1, p.58-61, 2000.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. Plant physiology. 2ª edição. Belmont: Wadsworth publ., 1978. 422p.

SANTANA, M.S.; OLIVEIRA, C.A.S.; QUADROS, M. Crescimento de duas cultivares de cafeeiro adensado influenciado por níveis de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.644-653, 2004.

SANTINATO, R.; CAMARGO, A.P.; VERRAED, I.J.; YAMAMUSHI, C.A.; HORIO, C.Y. Irrigação de cafezal com sistema tripas (tripa plástica e válvula CS) em região hídrica marginal para café arábica. In: Anais do XV Congresso Brasileiro de Pesquisa Cafeeira, Maringá, p.198-204, 1989.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A.L.T.; FERNANDES, D.R. Irrigação na cultura do café, Campinas: Arborea, 1996. 146p.

SCHOLANDER, P.E.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, Washington, v.148, p.339-46, 1965.

SCHUCH, U.K.; FUCHIGAMI, L.H.; NAGAO, M.A. Flowering, ethylene production, and ion leakage of coffee in response to water stress and gibberellic acid. **Journal American Society for Horticultural Science**. v.117, n.1, p.158-163, 1992.

SEDIYAMA, G.C.; MELO JUNIOR, J.C.; SANTOS, A.R.; RIBEIRO, A.; COSTA, M.H.; HAMAKAWA, P.J.; COSTA, J.M.N.; COSTA, L.C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, p.501-509, 2001. Número especial Zoneamento Agrícola.

SILVA, A.M.; LIMA, E.P.; COELHO, M.R.; COELHO, G.S. Produtividade, rendimento de grãos e comportamento hídrico foliar em função da época de irrigação do parcelamento e do método de adubação do cafeeiro catuaí. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.434-440, 2003a.

SILVA, C. R.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; MELO, F. B.; SOUSA, A. B.; SOUZA, C. F. Calibração da sonda de capacitância Diviner 2000 em um argissolo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1., 2006, João Pessoa. Resumos. CD-Rom.

SILVA, C.R. Evapotranspiração e desenvolvimento de limeira ácida 'Tahiti' na ausência e presença de estresse hídrico 2005. 99p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, E.A.; BRUNINI, O.; SAKAI, E.; ARRUDA, F.B.; GALLO, P.B.; PEREIRA, A.C. Efeito de variáveis edafoclimáticas e da intensidade/duração do déficit hídrico na uniformidade de produção e produtividade do cafeeiro arábica na localidade de Mococa, SP. In: Anais do III Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil e Workshop Internacional de Café & Saúde. Brasília: Embrapa Café, Porto Seguro, v.1, p.1-4, 2003b.

SILVA, E.A.; BRUNINI, O.; SAKAI, E.; PIRES, R.C.M.; GALLO, P.B.; PAULO, E. M. Efeitos de variáveis edafoclimáticas no florescimento e formação de frutos do cafeeiro arábica em distintas regiões macroclimáticas do estado de São Paulo. In: Resumos do II Simpósio Brasileiro de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Vitória, p.16-17, 2001.

SILVA, E.L.; PEREIRA, G.M.; CARVALHO, J.A.; VILELE, L.A.A.; FARIA, M.A.; Manejo da irrigação das principais culturas, Lavras, UFLA/FAEPE, 85p, 2000.

SILVA, E.M.; AZEVEDO, J.A.; GUERRA, A.F.; FIGUERÊDO, S.F.; ANDRADE, L.M.; ANTONINI, J.C.A.; Manejo de irrigação para grandes culturas. In: FARIA, M. A.; SILVA, E.L.; VILELA, L.A.A.; SILVA, A.M. Manejo de irrigação. Poços de Caldas: UFLA/SBEA, p.239-280, 1998.

SILVA, E.A. Influência do local de cultivo e do manejo de irrigação no florescimento, uniformidade de produção e qualidade de bebida do café (*Coffea arabica* L.). 2004. 70p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas.

SILVA, M.L.O.; FARIA, M.A.; SILVA, A.L.; COSTA, H.S.C.; GARCIA, P.R.; GUIMARÃES, P.T.G.; SILVA, E.L. Crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. In: Anais do V Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, Araguari, p.20-23, 2002.

SIONIT, N.; KRAMER, P.J. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. **Agronomy Journal**, v.69, p.274-278, 1977.

SMITH, M.; ALLEN, R.; MONTEITH, J.L.; PERRIER, A.; PEREIRA, L.S.; SEGEREN, A. Expertconsultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Rome: FAO, 1990. 59p.

SOARES, A.R.; MANTOVANI, E.C.; RENA, A.B.; SOARES, A.A. Irrigação e fisiologia da floração em cafeeiros adultos na região da zona da mata de Minas Gerais. Maringá, v.27, n.1, p.117-125, 2005.

SOARES, R.S.; MANTOVANI, E.C.; RENA, A.B.; SOARES, A.A.; BONOMO, R. Estudo comparativo de fontes de nitrogênio e potássio empregados na fertirrigação do cafeeiro. In: Resumos do I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Poços de Caldas, v.2, p.852-855, 2000.

SOUSA, M.B.A.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, J.G.F.; SOARES, A.A. Estudo do consumo de água do cafeeiro em fase de produção, irrigado por pivô central, na região norte do Espírito Santo e extremo sul da Bahia. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2., 2001, Vitória. Anais. CD-Rom.

THOMAZIELLO, R.A.; FAZUOLI, L.C.; PEZZOPANE J.R.M.; FAHL J.I.; CARELLI, M.L.C. Café arábica: “Cultura e técnicas de produção”. Boletim técnico 187, Campinas, Instituto Agrônomo, p.2-6, 2000.

- TOBIN, M.F.; LOPES, O.R.; KURSAR, T.A. Responses of tropical understory plants to a severe drought: tolerance and avoidance of water stress. **Biotropica**, v.31, p.570-578, 1999.
- VESCOVE, H.V.; TURCO, J.E.P. Comparação de três métodos de estimativas da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara-SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.713-721, 2005.
- VICENTE, M.R.; SOARES, A.R.; MANTOVANI, E.C.; FREITAS, A.R. Produtividade de cultivares de *Coffea arabica* L. sob condição de irrigação no cerrado de MG (Dados de duas produções). In: Anais do III Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil e Workshop Internacional de Café & Saúde, Porto Seguro, p.144, 2003.
- VIEIRA, D.B. Irrigação de pomares cítricos, planta cítrica. Cordeirópolis: Instituto Agrônomo, 1982. p.13-26.
- VIEIRA, G.H.S.; MANTOVANI, E.C.; SOUSA, M.B.A.; BONOMO, R. Influência de diferentes lâminas de irrigação nos parâmetros de crescimento do cafeeiro na região de Viçosa, MG. In: Resumos do I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil Poços de Caldas, p.879-881, 2000.
- VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R. Estimativa da evapotranspiração com o Tanque Classe A. In: Anais do VI Irrigação da Cafeicultura no Cerrado Araguari, p.145-52, 2001.
- VILLA NOVA, N.A.; FAVARIN, J.L.; ANGELOCI, L.R.; NETO, D.D. Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.1, p.81-88, 2002.
- WALLIS, J.A.N. Water use by irrigated Arabica coffee in Kenya. **Journal of Agricultural Science**, v.60, n.381, p.381-388, 1962.
- WENT, F.W. Experimental control of plant growth. *Chronica Botanica*, Waltham. Massachus. p.164-168, 1957.
- WORNER, T.M.; GITUANJA, J. Seasonal patterns of growth and development of Arabica coffee in Kenya. Part II. Flower initiation and differentiation in coffee east of Rift Valley. *Kenya Coffee*: p.270-277, 1970.
- WRIGHT, L. New evapotranspiration crop coefficients. *Journal of the Irrigation and Drainage*, New York, v.108, p.57-75, 1982.
- WWV - World Water Vision: 2000 A Water Secure World, – Vision for water, life and environment. World Water Commission Report, Inglaterra, Thames Press, 2000, 70p.
- YANG, S.; TYREE, M.T. Hydraulic architecture of *Acer saccharum* and *A. rubrum*: comparison of branches of whole trees and the contribution of leaves to hydraulic resistance. **Journal of Experimental Botany**. V.46, n.271, p.179-186, 1994.

# 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](#)