

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

**Crescimento e desenvolvimento do cafeeiro sob efeito da adubação
nitrogenada**

Flávio Murilo Pereira da Costa

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

**Piracicaba
2006**

Flávio Murilo Pereira da Costa
Engenheiro Agrônomo

Crescimento e desenvolvimento do cafeeiro sob efeito da adubação nitrogenada

Orientador:

Prof. Dr. **DURVAL DOURADO NETO**

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

Piracicaba
2006

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

Costa, Flávio Murilo Pereira da

Crescimento e desenvolvimento do cafeeiro sob efeito da adubação nitrogenada /
Flávio Murilo Pereira da Costa. - - Piracicaba, 2006.
80 p. : il.

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

1. Café 2. Crescimento vegetal 3. Desenvolvimento vegetal 4. Fertilizante
nitrogenado I. Título

CDD 633.73

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

OFERECIMENTO e DEDICATÓRIA

Ofereço:

ao grande amigo **Ciro**, pela grande força e amizade em Piracicaba.

ao meu Pai e à minha Mãe, com muito carinho; irmãos e irmãs, que tanto estimo.

ao meu orientador, Prof. Durval.

Este trabalho é dedicado aos produtores de café brasileiros, e em especial:

à minha filha **Manuela**, pelo sacrifício de estar tão longe fisicamente, no entanto, tão perto ao mesmo tempo. É somente um tempo com distância que nos separa; e

à **Kaká**, pela imensurável força, amor e confiança no meu trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão da Bolsa de Estudos.

Ao Prof. Dr. Durval Dourado Neto, pela dedicação ao ensino.

Ao Prof. Dr. Klaus Reichardt, pelo grande auxílio e confiança na idealização do projeto.

Ao Prof. Dr. José Laércio Favarin, pela contribuição e idealização do projeto.

Ao Prof. Dr. Marcos Silveira Bernardes, pela concessão e utilização das dependências do laboratório de fisiologia, pelo empréstimo dos instrumentos e aparelhos e, acima de tudo, à grande amizade.

Ao Eng. Agrônomo Dr. Luís Fernando Sanglade Marchiori e à Fazenda Areão, pela concessão da área experimental.

Ao Eng. Agr. Dr. Edson Teramoto, pela valiosa contribuição na condução dos trabalhos, enquanto aqui esteve, e, sobretudo, à amizade.

Ao GEA, pela valiosa colaboração, condução e avaliações dos trabalhos de campo.

Às Bibliotecárias Eliana Maria Garcia e Silvia Zinsly, pela revisão do item Referências e da formatação geral do texto.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, em Piracicaba, pelo valioso entrosamento e apoio todos esses anos de Pós-Graduação.

A todos aqueles que, embora não citados aqui, sabem que contribuíram em alguma etapa da minha vida.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO | 7 |
| ABSTRACT | 8 |
| LISTA DE FIGURAS..... | 9 |
| LISTA DE TABELAS..... | 12 |
| 1 INTRODUÇÃO | 17 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 18 |
| 2.1 Adubação nitrogenada..... | 18 |
| 2.2 Absorção e acúmulo de nitrogênio | 18 |
| 2.3 Épocas, doses e parcelamento do nitrogênio..... | 19 |
| 2.4 Perdas de nitrogênio | 21 |
| 2.5 Aspectos nutricionais..... | 22 |
| 2.6 Fenologia..... | 22 |
| 2.7 Características do crescimento e do desenvolvimento do cafeeiro..... | 23 |
| 2.8 Desenvolvimento vegetativo | 24 |
| 2.9 Soma calórica | 24 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 25 |
| 3.1 Caracterização do local do experimento | 25 |
| 3.2 Dados meteorológicos | 25 |
| 3.3 Material genético..... | 25 |
| 3.4 Determinação da fenologia | 26 |
| 3.5 Delineamento experimental e análise estatística..... | 27 |
| 3.6 Caracterização do solo utilizado | 29 |
| 3.7 Técnicas culturais | 29 |
| 3.8 Soma calórica e desenvolvimento relativo da cultura | 30 |
| 3.9 Determinações..... | 30 |
| 3.9.1 Procedimento para a determinação da massa de matéria seca..... | 30 |
| 3.9.2 Procedimento para a determinação da massa de matéria seca de raízes..... | 31 |
| 3.9.3 Procedimento para a determinação de parâmetros fitotécnicos..... | 32 |
| 3.9.4 Procedimento para determinação da área foliar total | 32 |
| 3.9.5 Procedimento para determinação do índice de área foliar | 33 |

| | |
|--|----|
| 3.9.6 Procedimento para determinação do volume de copa | 33 |
| 3.9.7 Procedimento para a determinação da produtividade..... | 34 |
| 3.10 Modelos utilizados | 35 |
| 3.10.1 Altura de planta..... | 35 |
| 3.10.2 Índice de área foliar..... | 35 |
| 3.10.3 Produção de fitomassa da parte aérea..... | 36 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 37 |
| 4.1 Dados meteorológicos | 37 |
| 4.2 Fenologia e graus-dia | 37 |
| 4.3 Parâmetros fitotécnicos..... | 37 |
| 4.3.1 Dados referentes a planta central na subparcela..... | 37 |
| 4.3.2 Altura da planta | 38 |
| 4.3.3 Índice de área foliar | 42 |
| 4.3.4 Diâmetro de copa..... | 49 |
| 4.3.5 Volume de copa..... | 50 |
| 4.3.6 Produtividade de café | 50 |
| 4.3.6.1 Produção de fitomassa seca de raiz | 52 |
| 4.3.6.2 Produção de fitomassa seca de caule | 53 |
| 4.3.6.3 Produção de fitomassa seca de ramos..... | 54 |
| 4.3.6.4 Produção de fitomassa seca de folhas..... | 55 |
| 4.3.6.5 Produção de fitomassa da parte aérea..... | 56 |
| 4.4 Considerações finais | 63 |
| 5 CONCLUSÕES | 68 |
| REFERÊNCIAS | 69 |
| ANEXOS..... | 74 |

RESUMO

Crescimento e desenvolvimento do cafeeiro sob efeito da adubação nitrogenada

A adubação nitrogenada em plantas de café (*Coffea arabica*) é importante principalmente para no início de desenvolvimento e de produção. O efeito da adubação é bastante pronunciado quando se aplicam doses do fertilizante na tentativa de maximizar a produtividade de café. Com o objetivo de caracterizar o crescimento e desenvolvimento de plantas de café sob efeito da adubação nitrogenada, um experimento de campo foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Esalq, Universidade de São Paulo, em Piracicaba-SP, (Latitude: 23°43'33" Sul. Longitude: 47°38'00" Oeste. Altitude: 576 metros). O projeto de pesquisa foi conduzido durante duas estações consecutivas (de 1 de Setembro de 2003 a 1 de Setembro de 2004 e de 1 de Setembro de 2004 a 1 de Julho de 2005). O presente trabalho visa caracterizar a variação temporal do acúmulo da matéria seca e da taxa de crescimento da cultura, além de verificar o efeito da adubação nitrogenada. A dinâmica do nitrogênio foi estudada em plantas de café (cultivar 'Catuaí Vermelho IAC 44') transplantadas em maio de 2001, utilizando-se diferentes doses de nitrogênio. O espaçamento foi de 1,75 x 0,75m. O delineamento estatístico estabelecido foi inteiramente casualizado, com três tratamentos (níveis de nitrogênio) e cinco repetições. Em intervalos periódicos e regulares (aproximadamente a cada 60 dias), uma planta por parcela foi coletada rente ao solo. Dados referentes à altura da planta, diâmetro médio inferior e superior da copa e altura da primeira inserção foram utilizados para determinar o volume de copa de cada planta. Para o estudo do acúmulo de massa de matéria seca, as diferentes partes da planta foram separadas (caule, ramos, folhas e frutos). O índice de área foliar foi obtido através dos valores observados e calculados pelo integrador de área foliar. Ao final de dois anos consecutivos, procurou-se estabelecer, através dos resultados, modelo empírico para caracterização de crescimento e desenvolvimento da cultura. Em função dos resultados obtidos, pode-se concluir que: (i) o aumento da produção de massa de matéria seca total está condicionado a um incremento da produção de massa de matéria seca de folhas do cafeeiro; (ii) a adubação nitrogenada propicia, no ano fenológico de baixa produtividade, maior produção e retenção de folhas àquelas plantas que receberam maior quantidade de nitrogênio, resultando assim, em maior emissão, pegamento de flores e produtividade no próximo ano; (iii) as plantas que receberam menor quantidade de nitrogênio, no primeiro ano fenológico de baixa produtividade, apresentam maior potencial de produção de matéria seca total somente no segundo ano fenológico, o que resulta em maior produção de ramos vegetativos ativos; e (iv) para a cultura de café em formação, a caracterização da variação temporal do acúmulo de massa de matéria seca deve contemplar modelos diferentes para os anos fenológicos de alta e baixa produtividade.

Palavras-chave: Análise de crescimento, *Coffea arabica*.

ABSTRACT

Growth and development of the coffee plant related to nitrogen fertilization

Nitrogen fertilization for coffee plants (*Coffea arabica*) is mainly of importance for crops at the beginning of development and production. The effect of the fertilization is sufficiently sharp when rates of the fertilizer are chosen to maximize the productivity of the crop coffee. With the purpose of characterizing the growth and development of coffee plants under the effect of nitrogen fertilization, a field experiment was carried out in Piracicaba, State of São Paulo, Brazil (Latitude: 23°43'33" South; Longitude: 47°38'00" West; Altitude: 576 meters). The research project was conducted during two consecutive coffee growing seasons (from 1 September 2003 to 1 September 2004 and from 1 September 2004 to 1 July 2005), to characterize the variation of the accumulation of dry matter and rates of plant growth, besides verifying the effect of the nitrogen fertilization. The dynamic of nitrogen was studied in plants (cultivar 'Catuaí Vermelho IAC 44'), transplanted in May 2001, using nitrogen fertilizer. The spacing between rows and plants is 1.75m and 0.75m, respectively. The established statistical design was completely randomic, with three levels of nitrogen (treatments) and five replications. In periodic and regular intervals of about 60 days, plants were collected cutting the shoot at soil surface. In function of the gotten results, it can be concluded that: (i) the increase of the production of total dry matter is conditional to an increment of the production of leaf dry matter of the coffee tree; (ii) the nitrogen fertilization propitiates, in the phenological year of low yield, bigger leaf production and retention to those plants that had received greater amount of nitrogen, thus resulting, in bigger emission, flowering and productivity in the next year; (iii) the plants that had received minor amount of nitrogen, in the first phenological year of low yield, they presented higher production of total dry matter in the phenological year, what it increases the production of active vegetative branches; and (iv) for coffee crop in formation, the characterization of the variation of the accumulation of dry matter must contemplate different models for the phenological years of high and low yield.

Key words: Growth analysis, *Coffea arabica*.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Esquemática das seis fases fenológicas do cafeeiro (*Coffea arabica*) (CAMARGO; CAMARGO, 2001)..... 26
- Figura 2 - Representação esquemática da área experimental: (A) detalhe dos três tratamentos distribuídos ao acaso em 5 repetições, totalizando as 15 parcelas experimentais; (B) e (C) detalhe da subparcela experimental indicando a área útil para determinação da produtividade de café e demais avaliações, espaçamento entre plantas (0,75m) e entre linhas (1,75m) 28
- Figura 3 - Representação esquemática do formato cônico da copa e dos parâmetros fitotécnicos: altura da planta (A_p , cm), diâmetros da copa inferior (D_{ci} , cm) e superior (D_{cs} , cm), e altura da primeira inserção (A_{1a} , cm) para fins de determinação do volume de copa (V_{copa} , cm^3)..... 34
- Figura 4 - Evolução do crescimento do cafeeiro em altura (A_p , cm) durante o período experimental (ano agrícola 2003/2004 e 2004/2005), para os diferentes tratamentos considerados 39
- Figura 5 - Variação temporal da altura da planta (A_p) (dados observados e calculados pelo modelo – equação 9) e soma de graus-dia (SGD, °C.dia – acumulado 60 dias) durante o desenvolvimento da cultura de café (tratamentos T_0 , T_1 e T_2), para os dois anos fenológicos 40
- Figura 6 - Variação da taxa de crescimento absoluto [TCA , $cm.(60dias)^{-1}$] durante o período experimental (taxa calculada a partir da $A_{p_{calc}}$) - tratamentos T_0 , T_1 e T_2 41
- Figura 7 - Variação temporal do índice de área foliar (IAF) (dados observados e modelo – equação 10), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente à testemunha T_0 , ano fenológico 2004 44
- Figura 8 - Variação temporal do índice de área foliar (IAF) (dados observados e modelo – equação 10), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T_1 , ano fenológico 2004 45
- Figura 9 - Variação temporal do índice de área foliar (IAF) (dados observados e modelo – equação 10), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T_2 , ano fenológico 2004 46

- Figura 10 - Variação temporal do índice de área foliar (IAF) (dados observados e modelo – equação 11), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente à testemunha T₀, ano fenológico 2005 47
- Figura 11 - Variação temporal do índice de área foliar (IAF) (dados observados e modelo – equação 11), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₁, ano fenológico 2005 48
- Figura 12 - Produtividade do cafeeiro em sacas.ha⁻¹ durante os dois anos agrícolas considerados (2003/2004 e 2004/2005) para os diferentes tratamentos (T₀, T₁, T₂). 51
- Figura 13 - Porcentagem da massa de matéria seca de raízes (MMS_{raiz}) nas diferentes profundidades amostradas (0-20cm; 20-40cm; 40-60cm; 60-80cm e 80-100cm) e nas quatro distâncias (15cm; 33cm; 56cm e 87,5cm) em relação ao tronco da planta de cafeeiro. 53
- Figura 14 - Variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (dados observados e modelo – equação 12), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente à testemunha (T₀), ano fenológico 2004..... 57
- Figura 15 - Variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (dados observados e modelo – equação 12), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₁, ano fenológico 2004..... 58
- Figura 16 - Variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (dados observados e modelo – equação 4), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₂..... 59
- Figura 17 - Variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (dados observados e modelo – equação 8), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente à testemunha T₀, ano fenológico 2005..... 60

- Figura 18 - Variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (dados observados e modelo – equação 13), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₁, ano fenológico 2005..... 61
- Figura 19 - Variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (dados observados e modelo – equação 13), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₂, ano fenológico 2005..... 62
- Figura 20 - Variação temporal da área foliar total (AF, cm².planta⁻¹) em função de diferentes doses de nitrogênio (Ano 1/2: T₀: 0/0; T₁: 140/175 e T₂: 280/350 kg.ha⁻¹)..... 64
- Figura 21 - Relação entre área foliar total (AF, cm².planta⁻¹) e massa de matéria seca de folhas (MMS_{folha}, g.planta⁻¹) referente ao tratamento T₀ (0 kg.ha⁻¹ de nitrogênio).... 64
- Figura 22 - Relação entre área foliar total (AF, cm².planta⁻¹) e massa de matéria seca de folhas (MMS_{folha}, g.planta⁻¹) referente ao tratamento T₁ (Ano 1/2:140/175 kg.ha⁻¹ de nitrogênio) 65
- Figura 23 - Relação entre área foliar total (AF, cm².planta⁻¹) e massa de matéria seca de folhas (MMS_{folha}, g.planta⁻¹) referente ao tratamento T₂ (Ano 1/2: 280/350 kg.ha⁻¹ de nitrogênio) 65
- Figura 24 - Comparação entre os valores acumulados de precipitação pluvial durante o período do experimento (P) e durante o período de 1917 a 2004 (P'). Piracicaba, SP. DAI = dias após o início do experimento (Fonte: <http://www.ciagri.usp.br/~emdabreu/MEDIAS.TXT>). 77
- Figura 25 - Vista geral do experimento (abril de 2004). Fazenda Areão. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo..... 80

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Descrição sucinta das características da variedade cultivada Catuaí Vermelho IAC 44..... | 26 |
| Tabela 2 - Causas de variação e graus de liberdade na análise de variância utilizada | 28 |
| Tabela 3 - Resultado da análise química de solo da localidade estudada | 29 |
| Tabela 4 - Correspondência do número de dias após início do experimento com a fenologia do cafeeiro e número de graus-dia (°C.dia) | 37 |
| Tabela 5 - Valores médios (média de 5 repetições) absolutos referentes a altura de planta (A_p , cm), diâmetro de copa inferior (D_{ci} , cm), diâmetro de copa superior (D_{cs} , cm) e altura da primeira inserção (A_{1a} , cm) avaliados na planta central de cada subparcela, por ocasião de cada coleta durante o período experimental. | 38 |
| Tabela 6 - Teste F referente à variação temporal da altura da planta (A_p) (equação 9) em função do desenvolvimento da cultura de café referente à testemunha T_0 , para os dois anos fenológicos | 40 |
| Tabela 7 - Parâmetros da equação de regressão (equação 9) da variação temporal da altura da planta (A_p , cm), erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente à testemunha T_0 , para os dois anos fenológicos | 41 |
| Tabela 8 - Teste F referente à variação temporal da altura da planta (A_p , cm) (equação 9) em função do desenvolvimento da cultura de café, referente ao tratamento T_1 para os dois anos fenológicos | 41 |
| Tabela 9 - Parâmetros da equação de regressão (equação 9) da variação temporal da altura da planta (A_p , cm), erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T_1 , para os dois anos fenológicos | 42 |
| Tabela 10 - Teste F referente à variação temporal da altura da planta (A_p , cm) (equação 9) em função do desenvolvimento da cultura de café referente ao tratamento T_2 , para os dois anos fenológicos | 42 |
| Tabela 11 - Parâmetros da equação de regressão (equação 9) da variação temporal da altura da planta (A_p , cm), erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T_2 , para os dois anos fenológicos | 42 |

| | |
|--|----|
| Tabela 12 - Variação do índice de área foliar (IAF, $m^2 \cdot m^{-2}$) (média de 5 repetições), em função do número de dias após o início do experimento (DAI), correspondente aos três tratamentos (T_0 ; T_1 ; T_2), durante o período experimental (2003/2004 e 2004/2005) | 43 |
| Tabela 13 - Teste F referente à variação temporal do índice de área foliar (IAF) (equação 10) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente à testemunha T_0 , ano fenológico 2004 | 44 |
| Tabela 14 - Parâmetros da equação de regressão (equação 10) da variação temporal do índice de área foliar (IAF), erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente à testemunha T_0 , ano fenológico 2004 | 44 |
| Tabela 15 - Teste F referente à variação temporal do índice de área foliar (IAF) (equação 10) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T_1 , ano fenológico 2004 | 45 |
| Tabela 16 - Parâmetros da equação de regressão (equação 10) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T_1 , ano fenológico 2004 | 45 |
| Tabela 17 - Teste F referente à variação temporal do índice de área foliar (IAF) (equação 10) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T_2 , ano fenológico 2004 | 46 |
| Tabela 18 - Parâmetros da equação de regressão (equação 10) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T_2 , ano fenológico 2004 | 47 |
| Tabela 19 - Teste F referente à variação temporal do índice de área foliar (equação 11) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente à testemunha T_0 , ano fenológico 2005 | 47 |
| Tabela 20 - Parâmetros da equação de regressão (equação 11) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente à testemunha T_0 , ano fenológico 2005 | 48 |
| Tabela 21 - Teste F referente à variação temporal do índice de área foliar (equação 11) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T_1 , ano fenológico 2005 | 48 |

| | |
|--|----|
| Tabela 22 - Parâmetros da equação de regressão (equação 11) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T ₁ , ano fenológico 2005 | 49 |
| Tabela 23 - Variação do diâmetro de copa (D _{ci} , cm) (média de 5 repetições), em função do número de dias após o início do experimento (DAI), correspondente aos três tratamentos (T ₀ ; T ₁ ; T ₂), durante o período experimental (2003/2004 e 2004/2005) | 49 |
| Tabela 24 - Variação do diâmetro de copa (D _{cs} , cm) (média de 5 repetições), em função do número de dias após o início do experimento (DAI), correspondente aos três tratamentos (T ₀ ; T ₁ ; T ₂), durante o período experimental (2003/2004 e 2004/2005) | 49 |
| Tabela 25 - Variação do volume de copa (V _{copa} , m ³) (média de 5 repetições), em função do número de dias após o início do experimento (DAI), correspondente aos três tratamentos (T ₀ ; T ₁ ; T ₂), durante o período experimental (2003/2004 e 2004/2005) | 50 |
| Tabela 26 - Número de plantas (NP), produtividade de café em coco (kg.UA ⁻¹) e de café beneficiado (CB _g , g.planta ⁻¹ e CB _s , sacas.ha ⁻¹) referentes aos diferentes tratamentos (T) | 50 |
| Tabela 27 - Massa de matéria seca de raízes (MMS _{raiz} , g.planta ⁻¹), da parte aérea (MMS _{pa} , g.planta ⁻¹) e total (MMS _{total} , g.planta ⁻¹) e porcentagem em relação ao total da planta, avaliada por ocasião da amostragem de raízes em 01/09/2004, média de 2 plantas por tratamento .. | 52 |
| Tabela 28 - Variação da massa de matéria seca do caule (MMS _{caule} , g.planta ⁻¹) (média de 5 repetições), em função do número de dias após o início do experimento (DAI), correspondente aos três tratamentos (T ₀ ; T ₁ ; T ₂), durante o período experimental..... | 53 |
| Tabela 29 - Variação da massa de matéria seca dos ramos (MMS _{ramo} , g.planta ⁻¹) (média de 5 repetições), em função do número de dias após o início do experimento (DAI), correspondente aos três tratamentos (T ₀ ; T ₁ ; T ₂), durante o período experimental..... | 54 |
| Tabela 30 - Variação da massa de matéria seca de folhas (MMS _{folha} , g.planta ⁻¹) (média de 5 repetições), em função do número de dias após o início do experimento (DAI), correspondente aos três tratamentos (T ₀ ; T ₁ ; T ₂), durante o período experimental..... | 55 |
| Tabela 31 - Variação da massa de matéria seca da parte aérea (MMS _{pa} , g.planta ⁻¹) (média de 5 repetições), em função do número de dias após o início do experimento (DAI), correspondente aos três tratamentos (T: T ₀ ; T ₁ ; T ₂), durante o período experimental ... | 56 |

| | |
|--|----|
| Tabela 32 - Teste F referente à variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (equação 12) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente à testemunha T ₀ , ano fenológico 2004..... | 57 |
| Tabela 33 - Parâmetros da equação de regressão (equação 12) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T ₀ , ano fenológico 2004 | 57 |
| Tabela 34 - Teste F referente à variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (equação 12) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T ₁ , ano fenológico 2004 | 58 |
| Tabela 35 - Parâmetros da equação de regressão (equação 12) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T ₁ , ano fenológico 2004 | 58 |
| Tabela 36 - Teste F referente à variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (equação 13) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T ₂ , ano fenológico 2004 | 59 |
| Tabela 37 - Parâmetros da equação de regressão (equação 13) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T ₂ , ano fenológico 2004 | 59 |
| Tabela 38 - Teste F referente à variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (equação 13) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente à testemunha T ₀ , ano fenológico 2005..... | 60 |
| Tabela 39 - Parâmetros da equação de regressão (equação 13) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente à testemunha T ₀ , ano fenológico 2005 | 60 |
| Tabela 40 - Teste F referente à variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (equação 13) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T ₁ , ano fenológico 2005 | 61 |
| Tabela 41 - Parâmetros da equação de regressão (equação 13) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T ₁ , ano fenológico 2005 | 61 |

- Tabela 42 - Teste F referente à variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (equação 13) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T_2 , ano fenológico 2005 62
- Tabela 43 - Parâmetros da equação de regressão (equação 13) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T_2 , ano fenológico 2005 62
- Tabela 44 - Valores médios mensais de temperatura do ar máxima ($T_{máx}$, °C), mínima ($T_{mín}$, °C) e média (T_{med} , °C), umidade relativa do ar máxima ($UR_{máx}$, %), mínima ($UR_{mín}$, %) e média ($UR_{méd}$, %), velocidade (v , $m.s^{-1}$) e direção (D , °) do vento, precipitação pluvial (P , mm) e número de dias de chuva superior a 10 mm (DC), radiação solar global média (Q_g , $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$), radiação líquida total diária média (R_n , $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$), fluxo total diário de calor no solo (G , $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$), pressão de saturação de vapor (e_s , kPa) e estimativa de evapotranspiração potencial medida através de dois métodos: Tanque Classe A (ET_{OT} , mm) e Penman-Monteith – FAO (ET_{OF} , mm), durante o período experimental 75
- Tabela 45 - Precipitação (P , mm), irrigação (I , mm), armazenamento inicial (S_i , mm), variação do armazenamento de água no solo (ΔS , mm), escoamento superficial (RO , mm), drenagem (Q_{Li} , mm) e evapotranspiração real (E_{ri} , mm) e a evapotranspiração da cultura (E_{tc} , mm), para todos os períodos analisados (DAI = dias após o início) 78

1 INTRODUÇÃO

A prática da adubação nitrogenada do cafeeiro é relatada na literatura sob diversas maneiras. Diferentes doses, formas e épocas de aplicação de adubos nitrogenados são indicadas. O nutriente é indispensável para aumentos significativos de produtividade da cultura e representa, entre outros aspectos, uma fatia considerável do custo total de produção da cultura. O seu uso irracional é caracterizado pela aplicação de doses desnecessárias em épocas inadequadas, constituindo-se uma maneira de aumentar as perdas de nitrogênio para o sistema pela baixa eficiência de absorção pelas plantas naquele momento ou por lixiviação.

A eficiência da adubação nitrogenada é conhecida apenas indiretamente, por meio da resposta da cultura em termos de produção. Como as doses de nitrogênio aplicadas são altas e realizadas na época das chuvas, com ou sem irrigação, pressupõe-se que as perdas sejam significativas. O uso de isótopos estáveis, na forma de fertilizante marcado com ^{15}N , é uma ferramenta apropriada para estudos dessa natureza, podendo-se avaliar o destino do fertilizante no sistema solo-planta-atmosfera e, portanto, determinar a eficiência da cultura em aproveitá-lo (REICHARDT, 1986). A utilização dessa técnica isotópica em uma cultura perene de grande porte é difícil tanto pela obtenção da taxa de acúmulo de matéria seca total da planta, como pela exigência de grande quantidade de fertilizante marcado, o que onera o custo da pesquisa.

A marcação do fertilizante é essencial para responder às perguntas práticas que o cafeicultor tem a respeito da adubação nitrogenada, possibilitando o entendimento da partição do nitrogênio absorvido pelo cafeeiro, entre o fornecido pelo solo e aquele proveniente do fertilizante. Com a utilização dessa técnica, esperam-se obter respostas seguras sobre a eficiência e dose de fertilizante, contribuindo assim para um manejo mais racional da adubação nitrogenada do cafeeiro, maximizando a relação benefício-custo.

O presente trabalho teve por objetivos estudar o efeito da adubação nitrogenada na produtividade da cultura do café e caracterizar a variação temporal do acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea do cafeeiro através do estabelecimento de um modelo empírico para o crescimento e desenvolvimento da cultura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Adubação nitrogenada

As corretas práticas de manejo podem ser determinantes para a condução adequada da cultura, visto que a integração de informações sobre a planta e os elementos bióticos (pragas e doenças) e abióticos (clima e solo), além do efeito bienal de produção, podem auxiliar no desenvolvimento da tecnologia de produção.

O efeito da adubação é de considerável importância para a cultura de café, principalmente se levarmos em conta os aspectos relacionados às baixas produtividades relatadas dos cafezais brasileiros. Dentre os elementos mais exigidos pela cultura, o nitrogênio é o que mais se destaca, tanto pelas quantidades extraídas como pelas exportadas. É o nutriente que proporciona maior aumento de produtividade em plantas de café.

2.2 Absorção e acúmulo de nitrogênio

O nitrogênio é o nutriente quantitativamente mais exigido na vegetação do cafeeiro e o segundo mais exportado para os grãos, vindo logo após o potássio (CATANI; MORAES, 1958; MORAES; CATANI, 1964). A análise das partes constituintes do cafeeiro, especialmente folhas e frutos, revela uma elevada exigência em nitrogênio e potássio, fato esse confirmado em diversos experimentos de campo (MALAVOLTA, 1993). Dados obtidos cultivando o cafeeiro em solução nutritiva, no período que vai da pré-floração até metade do crescimento do fruto, revelam que plantas de café absorvem 60% do nitrogênio total de que acumula no ano agrícola.

A quantidade de nitrogênio mensalmente retida pelo cafeeiro com mais de três anos de idade na parte vegetativa, de setembro a junho é de 3,0 a 3,5 kg.ha⁻¹ (de dezembro a março) e ao redor de 2,0 kg.ha⁻¹ nos demais meses (KÜPPER, 1976), sendo que nos dois a três meses de menores valores de temperatura média durante o período seco, a absorção de nitrogênio é de aproximadamente 0,5 kg.ha⁻¹. Na frutificação, segundo Malavolta (1986), essa fase imobiliza o nitrogênio em ritmo diferente. Na fase do chumbinho, segundo esses autores, o consumo de nitrogênio é de menos de 0,1 kg.mês⁻¹.ha⁻¹ e na fase de granação é de pouco mais de 0,4 kg.ha⁻¹ por saca de café beneficiado de carga pendente.

A variação de nutrientes nos frutos e nas folhas do cafeeiro desde o início de formação até maturação dos frutos, pode ser quantificada pela extração de nutrientes de frutos, conhecendo-se

assim, o ritmo de sua extração. A extração de nutrientes pelos frutos obedece a seguinte ordem decrescente: potássio, nitrogênio, cálcio, magnésio, enxofre, fósforo, manganês, boro, cobre e zinco (CHAVES, 1982).

O suprimento de nitrogênio ao solo depende da mineralização de sua matéria orgânica, que é função do teor de água, da temperatura, do pH do solo e da quantidade e natureza dessa mesma matéria orgânica, em particular de sua relação C/N (MALAVOLTA, 1986).

Dessa forma, pode-se calcular uma distribuição parcelada de maneira que não haja falta nem excesso de nitrogênio durante todo o período vegetativo e o de frutificação.

2.3 Épocas, doses e parcelamento do nitrogênio

Diferentes doses, formas e épocas de aplicação de adubos nitrogenados são relatadas na literatura. No entanto, a prática da adubação nitrogenada, indispensável para os ganhos significativos de produtividade, representa entre outros aspectos, uma fatia considerável do custo total de produção da cultura. Assim, uma atenção constante da pesquisa deve estar voltada para a racionalização do uso desse nutriente.

De maneira generalizada, a recomendação oficial indica atualmente, aplicações parceladas de até 450 kg.ha⁻¹ de nitrogênio por ano agrícola. As doses do nutriente são definidas em função da produtividade esperada e do teor foliar do nutriente para cafeeiros em produção (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999; RAIJ et al., 1996), que serão fornecidas no período chuvoso, variavelmente de setembro a março, compreendendo as fases de floração, frutificação e desenvolvimento vegetativo (RENA; MAESTRI, 1987).

O melhor aproveitamento dos fertilizantes pelo cafeeiro, principalmente o nitrogênio, com apreciável aumento de produção, está relacionado com o efeito de doses e parcelamentos (MARTINS, 1981; VIANA, 1980) e sobretudo com a época de adubação (KÜPPER, 1976). A absorção de nitrogênio pelo café é intensificada a partir do quarto mês do florescimento, coincidindo com o período de granação e maturação dos frutos (MORAES; CATANI, 1964). Todavia, com relação ao parcelamento, alguns resultados são variáveis em relação ao tipo de solo (VIANA, 1980).

Segundo Malavolta (1983) e Yamada (1987), quando os nutrientes nitrogênio e potássio são aplicados juntos, o efeito é maior do que quando aplicados separadamente, sendo que a adubação de somente um deles terá pouco ou nenhum efeito. Nos solos agrícolas de média a alta

fertilidade, a produtividade dos cafezais está relacionada com a presença de níveis adequados de nitrogênio e de potássio, especialmente o primeiro.

Silva et al. (1984), realizando ensaios no ES, verificaram que a fase mais indicada para adubação nitrogenada deve ser a de pós-florada e antes do início da granação (ou fase verde-aquoso para verde-sólido), no período de outubro a fevereiro, em 2 a 3 parcelamentos, visto que adubações antes da florada de setembro e/ou na fase de início da granação (fins de março) apresentaram efeitos menores no aumento da produtividade, provavelmente devido às perdas de nitrogênio em setembro (período de pouca precipitação) e em março por ser uma época tardia em face à maior exigência desse período, em que se inicia a granação dos frutos.

Da mesma forma, Matielo et al. (1983) verificaram que as maiores produtividades foram verificadas com tratamentos onde a primeira adubação foi realizada na florada ou no máximo 45 dias após a mesma, seguidas de outras três espaçadas de 45 ou 60 dias. Os autores sugerem que quando a primeira aplicação for realizada imediatamente após a florada, pode-se adotar o sistema de parcelamento das demais com doses mais elevadas nas últimas adubações.

Viana et al. (1985) e Viana; Miguel e Lacerda (1987) obtiveram, para experimentos realizados em Minas Gerais, efeito semelhante no parcelamento de três doses iguais ou desiguais (20, 30 e 50%) do início ao fim das chuvas, ou seja, a diferença de parcelamento de nitrogênio e potássio não influenciou a produção, não confirmando o proposto por Küpper (1976), de parcelar o nitrogênio nesses mesmos três percentuais visando aplicar doses maiores no período de maior necessidade do cafeeiro. É importante salientar que, segundo Moraes; Reis e Cervelline (1978), a maior absorção de nitrogênio ocorre no período chuvoso, com demanda maior pelos frutos aos 150-210 dias após o florescimento (época de maturação).

Por outro lado, Lazzarini e Moraes (1967) obtiveram resultados positivos na produtividade do cafeeiro com parcelamento da adubação nitrogenada, sem correlação com as necessidades por períodos. Já Moraes; Reis e Cervelline (1978), utilizando doses fracionadas, obtiveram resultados positivos com parcelamentos concentrados entre outubro e fevereiro.

As quantidades aplicadas de nitrogênio variam conforme a idade da planta e o tipo de sistema, sendo que as recomendações irão variar em função da carga ou produtividade esperada baseada na análise de solo e foliar. Em sistemas irrigados, algumas regras práticas são seguidas em relação aos níveis de parcelamento de nitrogênio. Esses variam conforme o sistema de irrigação utilizado. Em sistemas por aspersão, os parcelamentos podem variar de 4 a 8 vezes,

sendo que na fertirrigação localizada essa variação pode ser de 8 a 16 vezes. O mesmo acontece quando da utilização de sistema pivô central (SANTINATO; FERNANDES e FERNANDES, 1996).

2.4 Perdas de nitrogênio

Para se evitar o risco de perda de nitrogênio por volatilização, principalmente quando a fonte do nutriente for uréia, recomenda-se uma leve incorporação. Porém, de acordo com Malavolta (1993), é indicado o parcelamento em região com elevada precipitação pluvial, onde uma dose total menor parcelada mais vezes poderá determinar maior aproveitamento e também se mostrar mais econômica. Dessa forma, o parcelamento de adubos no campo deve levar em conta os períodos de exigência, as chuvas e a dinâmica dos elementos no solo (MALAVOLTA, 1993).

A época de aplicação dos fertilizantes nitrogenados é determinada em função de dois fatores principais, considerando-se plantas em plena produção: (i) os períodos de maior exigência do cafeeiro, e (ii) o desempenho do fertilizante no solo (MALAVOLTA, 1986). Se levarmos em conta o primeiro item, tais fases seriam: (i) depois da colheita e início da fase vegetativa, e (ii) pegamento da florada e crescimento dos frutos, sendo que o parcelamento, principalmente do nitrogênio, deve ser no mínimo de 3 a 4 vezes, devido à sua dinâmica na planta e no solo (segundo item), evitando-se as perdas de nitrogênio por lixiviação. As recomendações de doses e parcelamentos feitas por esse mesmo autor, são semelhantes às recomendadas por Moraes; Reis e Cervellini (1978).

O uso de ^{15}N como traçador em culturas anuais em tempos atuais está bastante definido (HARDARSON, 1990), podendo-se dizer que, quase que rotineiramente para aqueles envolvidos em aplicações de técnicas nucleares. O mesmo não pode ser relacionado para as culturas perenes, principalmente aquelas de médio porte e/ou grande como o cafeeiro. Entre as culturas perenes, o ^{15}N foi utilizado em plantas cítricas, destacando-se os trabalhos realizados por Boaretto et al. (1999a; 1999b), que estudaram a fertilização foliar de nitrogênio para laranjeiras em estágio de formação. Murthy e Iyengar (1992) utilizaram ^{15}N para avaliar a eficiência do fertilizante aplicado a citros e *Poncirus* em relação à morfologia do sistema radicular. Legaz et al. (1982) também apresentam estudo sobre a fertilização nitrogenada em citros, com base na aplicação de ^{15}N como marcador e, em outro trabalho, Legaz e Primo-Millo (1984) estudaram o efeito da adubação nitrogenada na floração de plantas cítricas.

Evidências mostram a existência de três trabalhos que envolvem a utilização de ^{15}N em café. Bustamante; Ochoa e Rodriguez (1997) fizeram um balanço do nitrogênio em mudas de café, utilizando nitrato de amônia, uréia e nitrato de potássio marcados; Snoeck e Domenach (1999) demonstram a transferência de nitrogênio de poáceas (leguminosas) para plantas de café e; Snoeck et al. (1994), em um outro trabalho, relacionado ao mesmo assunto, avaliaram a fixação biológica das poáceas utilizadas para adubação verde em Burundi.

2.5 Aspectos nutricionais

Os testes bioquímicos para avaliação do estado nutricional se baseiam no papel de um dado elemento na atividade de determinadas reações enzimáticas (sua falta provoca então variação no teor de metabólitos). A enzima redutase do nitrato é considerada a enzima limitante na incorporação do nitrogênio mineral em compostos orgânicos. É fundamental no processo de assimilação do nitrato, o qual é de grande importância para o desenvolvimento da planta por ser o principal composto nitrogenado inorgânico absorvido pelas raízes (BEEVERS; HAGEMAN, 1969).

Carelli e Fahl (1984), em um experimento para determinar a atividade da enzima redutase do nitrato e teor de nitrato nas folhas, verificaram maior atividade nas folhas dos ramos com presença de flores e posteriormente de frutos, devido a maior demanda de metabólitos nitrogenados. O maior teor de nitrato nas folhas dos ramos com frutos indicam que existe um direcionamento preferencial do fluxo de nutrientes absorvidos, para os ramos em que há maior “fonte de consumo”.

Em condições de campo, Amaral et al. (1987) concluíram que, nos meses frios, o cafeeiro eleva a atividade dessa enzima nas folhas e também nas raízes quando suprido de nitrogênio nítrico ou amoniacal, sendo possível que nessa época a adubação nitrogenada possa ser vantajosa, acompanhada de adequado manejo da disponibilidade de água, visto que, segundo Carelli e Fahl (1984), a presença de flores e depois dos frutos causa aumento da demanda por nitrogênio.

2.6 Fenologia

Fenologia é definida como sendo o estudo dos eventos periódicos que ocorrem durante as fases vegetativa e reprodutiva da planta em função da sua reação às condições de ambiente. No intuito de extrapolar resultados, principalmente para fins de manejo, correlaciona-se a caracterização morfológica da planta, ao longo de todo o seu ciclo, com as mudanças induzidas

por alterações fisiológicas. Como fundamento filosófico, a caracterização dos estádios fenológicos pode auxiliar na identificação dessas alterações fisiológicas da planta através das mudanças em sua morfologia.

O cafeeiro, espécie *Coffea arabica*, é uma planta especial que leva dois anos para completar o ciclo fenológico. No primeiro, formam-se os ramos vegetativos, com gemas axilares nos nós, durante os meses de dias longos. A partir de janeiro, quando os dias começam a encurtar, as gemas vegetativas axilares são induzidas por fotoperiodismo em gemas reprodutivas (GOUVEIA, 1984). Após o equinócio de março, os dias passam a serem mais curtos. Em abril já apresentam pouco menos que 13 horas de luz efetiva (PIRINGER; BORTHWICK, 1995), intensificando assim, a indução das gemas foliares existentes para gemas florais, que começam a se desenvolver. Essas gemas florais vão amadurecendo e, quando maduras, entram em dormência ficando prontas para a antese. Nesse momento ocorre um aumento substancial do potencial hídrico nas gemas dormentes. O choque hídrico, causado por chuva ou irrigação, é o principal fator para desencadear a florada. Para Camargo e Franco (1985), outros motivos, como um acentuado aumento da umidade relativa do ar, mesmo que os cafeeiros não recebam chuva diretamente, poderá também provocar a florada.

O segundo ano fenológico inicia com a florada, formação dos chumbinhos, que precede a expansão dos frutos até atingirem o tamanho normal. Em seguida vem a fase de granação dos mesmos e maturação, na seqüência. Finalmente, advêm a senescência, morte dos ramos plagiotrópicos terminais, e a conhecida autopoda. Na primavera do ano civil seguinte brotam novos ramos vegetativos, que se transformam em reprodutivos, permitindo nova produção defasada no ano seguinte (ano de baixa produtividade).

2.7 Características do crescimento e do desenvolvimento do cafeeiro

O cafeeiro é um arbusto de crescimento contínuo, que tem como dimorfismo de ramos, apresentando ramos ortotrópicos, que crescem verticalmente e ramos plagiotrópicos, que crescem horizontalmente, numa inclinação de 45 a 90° em relação ao eixo principal. Os ramos ortotrópicos são aqueles que dão origem a folhas, a outros ramos ortotrópicos e a ramos plagiotrópicos, os quais dão origem a folhas, outros ramos plagiotrópicos, flores e frutos (RENA; MAESTRI, 1986). Esse dimorfismo caulinar caracteriza-se por uma diferenciação somática de natureza permanente e susceptível de ser propagada vegetativamente (ANDRÉ, 1973).

Em função da interação de fatores genéticos, nutricionais e ambientais, as plantas normalmente crescem em diferentes ritmos durante as diferentes épocas do ano (TAIZ; ZIEGER, 1991; MOHR; SHOPFER, 1995). Cafeeiros em produção ou em fase inicial de desenvolvimento não são diferentes (RENA et al., 1996). Apresentam grande capacidade de adaptação às variações ambientais, mediante modificações de natureza diversa (morfológica, bioquímica e fisiológica) (AKUNDA et al., 1979).

2.8 Desenvolvimento vegetativo

A altura da planta, o crescimento dos ramos e o número de flores são os componentes de uma planta de café mais influenciados pelo clima. A taxa de crescimento da planta (altura e ramos) correlaciona-se perfeitamente com a variação do número de horas de brilho solar, com a evapotranspiração, com a temperatura média e sua duração da máxima (JARAMILLO; VALÊNCIA, 1980).

Embora todas as estruturas da planta sofram influência do ajuste ao habitat, as folhas de cafeeiro são, em primeiro plano, as mais sensíveis às modificações e aquelas que apresentam alterações mais pronunciadas durante cada ano do ciclo fenológico (AKUNDA et al., 1979).

2.9 Soma calórica

O número de graus-dia (ou soma calórica) é definido como sendo a diferença entre a temperatura média diária e a temperatura basal inferior exigida por uma espécie (VILLA NOVA et al., 1972).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do local do experimento

Visando caracterizar o acúmulo de massa da matéria seca pelas diferentes partes das plantas e aprimorar as atuais recomendações de adubação nitrogenada para a cultura, o presente trabalho foi monitorado, por dois anos consecutivos, em área experimental do Departamento de Engenharia Rural ("Fazenda Areão") da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Esalq), Universidade de São Paulo (Usp), no município de Piracicaba, SP (23°43'33" de latitude Sul, 47°38'00" de longitude Oeste e 576 metros).

O experimento teve o seu início em 1 de setembro de 2003 e foi conduzido até 1 de julho de 2005, após a segunda e última colheita.

O clima é do tipo Cwa (segundo a classificação Köppen) e denominado "tropical de altitude" mesotérmico de inverno seco. A temperatura média para a localidade no mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 23°C. As médias anuais de temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa são de 21,1°C, 1.257 mm e 74%, respectivamente. A estação seca ocorre entre os meses de abril e setembro, sendo julho o mês mais seco. O mês mais chuvoso oscila entre janeiro e fevereiro. O total das chuvas do mês mais seco não ultrapassa 30 mm (VILLA NOVA, 1989).

3.2 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos foram fornecidos pelo Posto Agrometeorológico automatizado do Departamento de Ciências Exatas da Esalq/Usp, instalado no local do experimento, onde foram determinados os seguintes atributos climáticos: temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, precipitação, radiação solar e evapotranspiração. Dados gerais sobre balanço hídrico foram obtidos em estudo paralelo com equipamentos instalados junto às parcelas experimentais (SILVA, 2005).

3.3 Material genético

Foi utilizada a variedade cultivada Catuaí Vermelho IAC 44. O material genético atinge, na fase adulta, uma altura média de plantas variando entre 2,0 e 2,4 m e um diâmetro de copa entre 1,7 e 2,1 m, sendo que tais dimensões podem variar em função do local.

O número médio de dias desde a fertilização à maturação completa dos frutos, para Campinas, SP, é de 230 (FAZUOLI et al., 2000). Na Tabela 1 estão apresentadas as características principais da variedade cultivada Catuaí Vermelho IAC 44.

Tabela 1 - Descrição sucinta das características da variedade cultivada Catuaí Vermelho IAC 44

| Origem | linhagem | Resistência à Ferrugem | Cor do fruto | Maturação | Cor do broto | Peneira Média | Qualidade da Bebida | Diâmetro da Copa ¹ | Tipo de sementes (%) | | |
|-------------------------|----------|------------------------|--------------|----------------|--------------|---------------|---------------------|-------------------------------|----------------------|------|--------|
| | | | | | | | | | Chato | Moca | Concha |
| Caturra Amar. X M. Novo | IAC 44* | Suscetível | Verme-lha | Média a tardia | Verde | 16 | Ótima | Médio | 97 | 2 | 1 |

¹ A variedade cultivada apresenta internódios curtos, ramificação secundária abundante e é indicado para plantios adensados ou em renque.

3.4 Determinação da fenologia

As etapas fenológicas foram acompanhadas em cada fase do crescimento e do desenvolvimento. Durante a coleta das plantas, foi utilizada a escala fenológica proposta por Pezzopane et al. (2003) para a identificação da correspondência das etapas com as coletas.

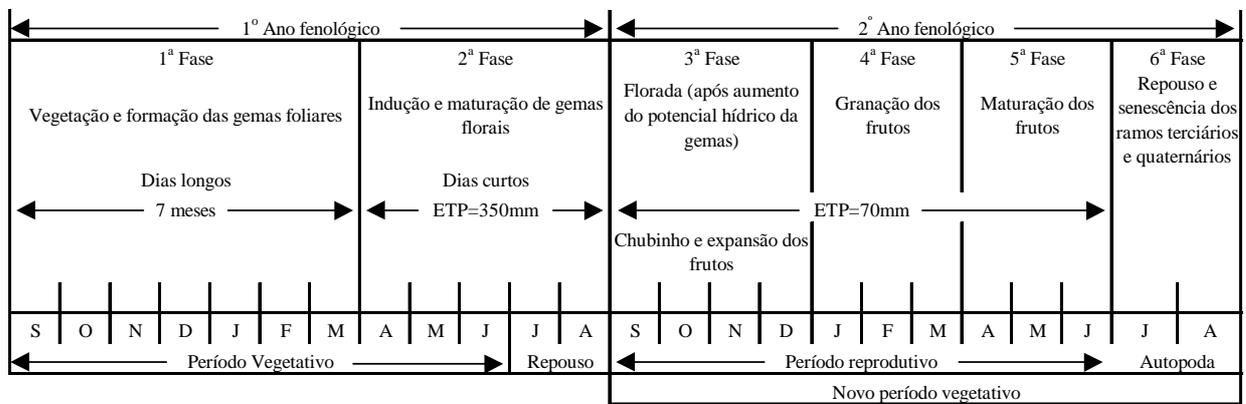


Figura 1 - Esquematização da seis fases fenológicas do cafeeiro (*Coffea arabica*) (CAMARGO; CAMARGO, 2001)

O esquema proposto por Camargo e Camargo (2001) subdivide o ciclo fenológico do cafeeiro em seis fases distintas, em dois ciclos ou anos fenológicos, de acordo com a Figura 1.

3.5 Delineamento experimental e análise estatística

A transferência das mudas para o local definitivo do experimento ocorreu em maio de 2001. Foi utilizado o espaçamento inicial de 1,75 x 0,75 m (população: 7.619 plantas por hectare). O plantio foi feito em renque e em nível, ao longo do terraço local.

A área experimental total é de aproximadamente 2.000 m², que foi subdividida em 15 partes ao longo do terraço, totalizando aproximadamente 100 plantas de café para cada subdivisão. Essa subdivisão foi denominada de parcela. Os valores de produtividade (sacas.ha⁻¹ ou g.planta⁻¹), por ocasião da colheita de cada ano agrícola, foram calculados com base na área das parcelas experimentais.

O cafezal esteve sob a influência de três níveis crescentes de adubação nitrogenada: **T₀** - 0 kg.ha⁻¹ de nitrogênio; **T₁** - metade da dose recomendada para **T₂**; **T₂** - dose recomendada em função da expectativa de produtividade do ano agrícola seguinte, utilizando o fertilizante sulfato de amônia como fonte.

No experimento foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições, totalizando quinze parcelas experimentais. Cada unidade experimental (subparcela) foi constituída de nove plantas de café, selecionadas dentro da parcela experimental e uma planta central (uma das nove plantas) foi marcada para servir como referência para as coletas e avaliações no decorrer do período experimental. A área útil de cada subparcela totalizou 11,81 m². As duas linhas extremas e a última planta de cada linha da parcela foram consideradas bordaduras (Figura 2).

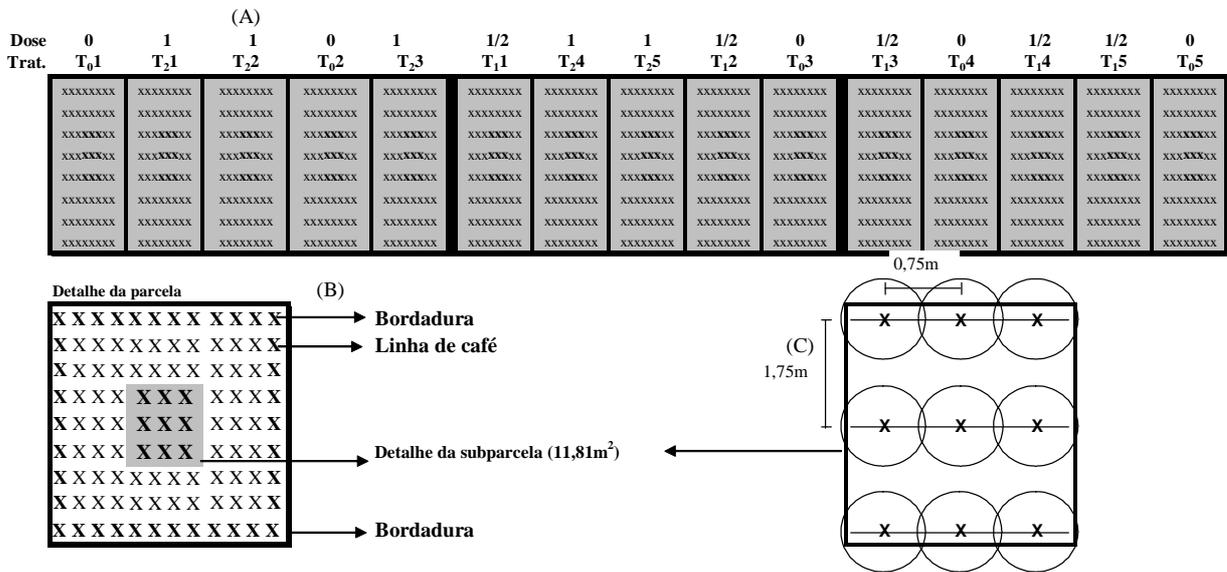


Figura 2 - Representação esquemática da área experimental: (A) detalhe dos três tratamentos distribuídos ao acaso em 5 repetições, totalizando as 15 parcelas experimentais; (B) e (C) detalhe da subparcela experimental indicando a área útil para determinação da produtividade de café e demais avaliações, espaçamento entre plantas (0,75m) e entre linhas (1,75m)

Foi realizada análise de variância para as variáveis do experimento, de acordo com o seguinte modelo (PIMENTEL GOMES, 1985):

$$Y_{ij} = \mu + D_i + \epsilon_{ij} \tag{1}$$

em que Y_{ij} é o valor da variável resposta correspondente à dose i ($i=0; 1/2$ ou 1 dose em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrogênio) na repetição j ($j=1,2,3,4$ ou 5); μ é a média geral da variável Y ; D_i o efeito da dose i ; ϵ_{ij} o erro aleatório associado à observação Y_{ij} .

Tabela 2 - Causas de variação e graus de liberdade na análise de variância utilizada

| Fonte de variação | Graus de liberdade |
|-------------------------|--------------------|
| Doses de nitrogênio (D) | 2 |
| Resíduo | 12 |
| Total | 14 |

3.6 Caracterização do solo utilizado

O solo onde foi implantado o experimento é classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférico, horizonte A moderado e textura argilosa (VIDAL TORRADO; SPAROVEK, 1993). A caracterização da fertilidade do solo foi feita por amostragem da camada de 0 a 20 cm de profundidade e analisada quimicamente. A análise química de solo (Tabela 3) foi realizada no Laboratório de Análise de Solos e de Plantas do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, em Piracicaba-SP.

Tabela 3 - Resultado da análise química de solo da localidade estudada

| Gleba | pH | MO | P | K | Ca | Mg | H+Al | SB | T | V |
|--------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | CaCl ₂ | g/dm ³ | mg/dm ³ | mmol _c /dm ³ | | | | | | % |
| Média de 200 Amostras | 5,3 | 31,1 | 7,8 | 4,3 | 28,8 | 20,1 | 29,9 | 53,1 | 83,1 | 63,8 |

Fonte: Laboratório de Análise de Solos e Plantas do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”). Piracicaba-SP.

3.7 Técnicas culturais

Ao longo das linhas de café foram instalados os seguintes tratamentos: T₀: testemunha (nitrogênio fornecido apenas pelo solo), T₁: 1/2 dose de T₂ e T₂ (1 dose descrita a seguir). As doses variaram de acordo com a expectativa de produtividade para cada ano agrícola.

Em 2003, a dose de nitrogênio foi recomendada em função da idade das plantas (fase de formação) e análise do solo, segundo recomendação oficial, ou seja, 280 kg.ha⁻¹ de nitrogênio (1 dose – ano fenológico 1).

Em 2004, a dose de nitrogênio para o tratamento T₂ foi recomendada em função da expectativa de produção, conforme recomendação oficial, ou seja, 350 kg.ha⁻¹ de nitrogênio (1 dose - ano fenológico 2).

As adubações com P e K foram normais e iguais para todos os tratamentos, conforme recomendação oficial em função da análise de solo, idade das plantas e expectativa de produção. Nos dois anos consecutivos, a dose foi aplicada em 4 épocas durante a estação chuvosa (setembro a fevereiro), sendo: ¼ em 1 de setembro, ¼ em 1 de novembro (60 dias depois), ¼ em 15 de dezembro (45 dias depois) e ¼ em 30 de janeiro (45 dias depois). A adubação anual (N, P e K) foi realizada a lanço na superfície do solo, na região mediana entre o caule e a projeção da

extremidade dos ramos plagiotrópicos (RIBEIRO; GUIMARÃES E ALVAREZI, 1999). Toda a área adjacente à subparcela experimental recebeu a mesma aplicação dos tratamentos.

Todas as demais práticas de manejo dos cafeeiros foram mantidas constantes e efetuadas de acordo com as recomendações oficiais (THOMAZIELLO et al., 2000) em toda a área experimental.

3.8 Soma calórica e desenvolvimento relativo da cultura

Para obtenção do número de graus-dia (GD) até o n-ésimo dia após o início do experimento, foi utilizada a seguinte equação:

$$GD_n = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{\min_i} + T_{\max_i}}{2} - T_b \right) \quad (\text{se } T_{\min_i} \geq T_b \text{ e } T_{\max_i} \leq T_m) \quad (2)$$

em que n se refere ao número de dias após o início do ano agrícola, T_b e T_m às temperaturas basal, inferior (11°C) e superior (35°C), respectivamente, para o cafeeiro; T_{\min_i} e T_{\max_i} às temperaturas mínima e máxima do ar, respectivamente, no i-ésimo dia após o início do ano agrícola.

O desenvolvimento relativo foi determinado durante os dois anos agrícolas, onde foram utilizados dados diários: (i) ano agrícola 2003/2004: 1 de setembro de 2003 (primeira avaliação) a 1 de setembro de 2004; e (ii) ano agrícola 2004/2005: 1 de setembro de 2004 a 1 de julho de 2005.

$$Dr_n = \frac{GD_n}{GD_{total}} \quad (3)$$

em que Dr_n se refere ao desenvolvimento relativo da cultura no n-ésimo dia após o início do ano agrícola, GD_{total} ao número de graus-dia referente à soma calórica do ano agrícola em questão (°C.dia).

3.9 Determinações

3.9.1 Procedimento para a determinação da massa de matéria seca

Para a determinação do acúmulo de massa de matéria seca do cafeeiro, utilizou-se a metodologia destrutiva de plantas. Foram coletadas e avaliadas 5 plantas por tratamento (uma planta por parcela) a partir de 1 de setembro de 2003. Sob intervalos regulares e periódicos, a cada 60 dias, uma planta por parcela foi arrancada, com corte rente ao solo e encaminhada para o laboratório para a determinação da variação da matéria seca das diferentes partes da planta (caule, ramos e folhas). A cada ano agrícola (2003/2004 e 2004/2005), foram realizadas 6 coletas com

intervalo de 60 dias (meses de coleta: Setembro, Novembro, Janeiro, Março, Maio e Julho), totalizando 90 plantas por ano agrícola. A coleta das plantas obedeceu ao seguinte critério: a planta central marcada e identificada foi avaliada quanto à sua altura (Ap, cm), diâmetros de copa superior (Dcs, cm) e inferior (Dci, cm), ausência ou presença de frutos, arquitetura e volume foliar visuais; a partir daí, uma planta semelhante era selecionada e coletada na adjacência da parcela, sempre obedecendo ao arranquio futuro das linhas alternadas a serem eliminadas.

Após o procedimento de determinação de todos parâmetros fitotécnicos, foram separados os ramos (ramo produtivo do ano mais o ramo novo ou vegetativo da planta), as folhas dos respectivos ramos e os frutos dos ramos produtivos, quando presentes. Ramos lignificados (ramos plagiotrópicos que já produziram) foram considerados como caule. Caule e ramos eram cortados, ensacados e encaminhados para secagem em estufa. O mesmo procedimento foi realizado com as folhas e os frutos. Antes do encaminhamento das folhas para a estufa, eram amostradas 500 folhas de cada planta para determinação da área foliar total, que também foram encaminhadas para a estufa.

O procedimento de secagem em estufa foi feito por um período que variou entre cinco e sete dias, mantendo-se a temperatura constante a 70°C. O final da secagem foi definido quando a massa de matéria seca (MMS) de cada amostra das partes da planta apresentou-se constante. Após o período de secagem, as diferentes partes foram pesadas individualmente e assim determinadas: MMS_{caule} – massa de matéria seca de caule (ramo ortotrópico mais ramo plagiotrópico lignificado), MMS_{ramo} – massa de matéria seca de ramos (ramos plagiotrópicos em produção mais ramo plagiotrópico novo ou vegetativo), MMS_{folha} - massa de matéria seca de folhas (folhas dos ramos em produção mais folhas dos ramos vegetativos), MMS_{Frutos} - massa de matéria seca de frutos, quando presentes.

3.9.2 Procedimento para a determinação da massa de matéria seca de raízes

A determinação da massa de matéria seca de raízes foi feita em apenas uma coleta, e 1 de setembro de 2004 por ocasião do arranquio (coleta) de plantas das parcelas. O procedimento foi feito por amostragem de solo (solo + raízes) na mesma planta selecionada e coletada dentro da parcela. Delimitou-se um retângulo com largura equivalente à distância na linha entre plantas (0,75m) e com comprimento equivalente à metade do espaçamento entre linhas de cafeeiros (0,875m). A idéia é que a área do retângulo representasse ao máximo a abrangência do sistema radicular de uma planta, dentro da população experimental. A profundidade foi fixada em 1,00m e

o retângulo foi demarcado sempre do mesmo lado na linha de cafeeiros, para homogeneizar a amostragem. No perfil do bloco retangular (volume do bloco = 656.250 cm^3) foram retiradas, a cada 20 cm, 12 amostras de solo com trado cilíndrico (volume = $883,575 \text{ cm}^3$), distanciadas da seguinte maneira em relação ao tronco da planta de café: três amostras a 15 cm, três amostras a 3 cm, três amostras a 56 cm e três amostras a 87,5 cm, totalizando portanto, 60 amostras de solo + raízes. Ainda, no perfil a 15 cm em relação ao tronco, foi retirado o solo que envolvia a raiz pivotante, obedecendo-se uma circunferência de 15 cm de raio até uma profundidade aproximada de 30 cm ou tão logo a mesma se soltasse.

As amostras foram ensacadas, identificadas e encaminhadas para o laboratório para lavagem e centrifugação. Após a separação das raízes do solo, foram secadas em estufa a 70°C por 72 horas e pesadas posteriormente para a obtenção da massa de matéria seca de raízes (MMS_{raiz}). O "toco" da raiz pivotante foi também seco em estufa até massa constante e depois pesado para a mesma determinação de massa de matéria seca.

3.9.3 Procedimento para a determinação de parâmetros fitotécnicos

No laboratório, para cada planta identificada, foram avaliados os seguintes parâmetros fitotécnicos: (i) altura da planta (A_p , cm) – distância entre o colo da planta ao ápice da mesma; (ii) diâmetros de copa superior (D_{cs} , cm) e inferior (D_{ci} , cm) – duas medidas médias entre as extremidades dos ramos plagiotrópicos superiores (altura aproximada da antepenúltima inserção lignificada do ramo ortotrópico) e duas medidas médias entre as extremidades dos ramos plagiotrópicos inferiores (dois primeiros ramos plagiotrópicos); (iii) altura da primeira inserção (A_{1a}) – distância entre o colo da planta à primeira inserção do caule principal (ramo ortotrópico); (iv) diâmetros de caule inferior (D_{c1} , mm) e superior (D_{c2} , mm) – duas medidas do diâmetro do caule a 4 cm do colo da planta (medida inferior) e duas medidas do diâmetro do caule no entrenó anterior da antepenúltima inserção lignificada do caule principal (medida superior); e (v) contagem do número de ramificações (N_r) no caule principal (ortotrópico).

3.9.4 Procedimento para determinação da área foliar total

Após a separação das respectivas partes das plantas, 500 folhas de cada planta foram amostradas para fins de determinação da estimativa da área foliar total. A amostra então era encaminhada para determinação da área foliar (AF_m , cm^2), através de medidor integrador de área foliar (LAI-3000) e em seguida levadas para secagem, até massa constante (MMSF_m – massa de

matéria seca de folhas da amostra, g.planta⁻¹). As demais folhas restantes também foram secas em estufa até massa constante (MMSFr – massa de matéria seca de folhas restantes, g.planta⁻¹), como já mencionado. A área foliar total (AF_{total}, cm²) foi estimada a partir da seguinte relação:

$$AF_{Total} = \frac{(AFm)(MMS_{folha})}{MMSFm} \quad (4)$$

$$MMS_{folha} = MMSFm + MMSFr \quad (5)$$

3.9.5 Procedimento para determinação do índice de área foliar

Para o cálculo do índice de área foliar (IAF, m².m⁻²), utilizou-se a seguinte relação:

$$IAF = \frac{AF_{total}}{A} \quad (6)$$

em que AF_{total} (m²) são os valores estimados da área foliar e **A** (m²) a área de terreno considerada em função do espaçamento da cultura (1,75 x 0,75 m) (Figura 2).

3.9.6 Procedimento para determinação do volume de copa

Para a determinação do volume da copa (V_{copa}, cm³) foi utilizada a seguinte equação do tronco cônico:

$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + Rr + r^2) \quad (7)$$

em que V = V_{copa} (m³); h = 3/4.(Ap- A_{1a}, cm), 3/4 pois foi descontado o valor do ponteiro; R = Dci/2 (cm); r = Dcs/2 (cm), conforme esquema da Figura 3.

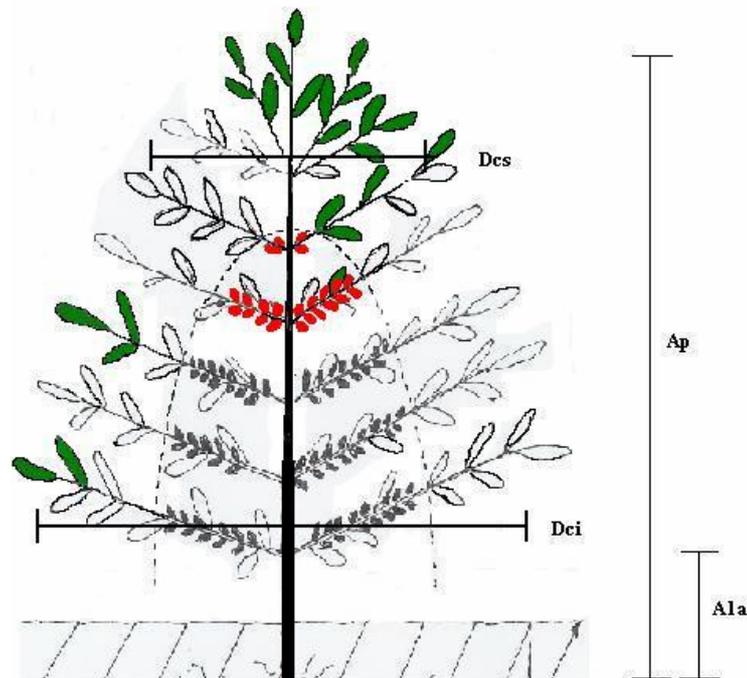


Figura 3 - Representação esquemática do formato cônico da copa e dos parâmetros fitotécnicos: altura da planta (A_p , cm), diâmetros da copa inferior (D_{ci} , cm) e superior (D_{cs} , cm), e altura da primeira inserção (A_{1a} , cm) para fins de determinação do volume de copa (V_{copa} , cm^3)

$$V_{\text{copa}} = (1/3) \cdot (3,1416) \cdot (3/4) \cdot (A_p - A_{1a}) \cdot ((D_{ci}/2)^2 + (D_{ci}/2 \cdot D_{cs}/2) + (D_{cs}/2)^2) / 1000000 \quad (8)$$

3.9.7 Procedimento para a determinação da produtividade

Para a determinação da produtividade, foram colhidas todas as parcelas e subparcelas separadamente.

A colheita teve o seu início, para todas as parcelas e subparcelas, quando em média cada planta apresentava menos de dez por cento de frutos ainda verdes. Os frutos foram colhidos no pano e encaminhados para terreiro apropriado para secagem dos frutos oriundos das parcelas experimentais.

A secagem foi finalizada quando o teor de água dos frutos ficou entre 11 e 12%. A partir desse momento, foram medidos o volume de frutos secos (“litragem”) e a massa de frutos secos (“café em coco”).

O beneficiamento foi feito em máquina apropriada. Após o beneficiamento, as parcelas e as subparcelas foram pesadas novamente com procedimento de determinação da umidade em estufa a 105°C por 24 horas. A massa de café beneficiado foi corrigida para o teor de água de 11% (umidade de armazenagem).

Nas parcelas, foram colhidas todas as plantas com exceção da última linha e da última planta de cada linha na parcela.

Após a colheita, foi determinado o número de plantas da parcela para individualização da produção por planta.

Nas subparcelas, as nove plantas receberam o mesmo procedimento de colheita. Porém, as plantas foram pesadas separadamente. Para essas, a separação foi feita de acordo com o grau de maturação dos frutos (grão verde, cereja e coco).

Os resultados da produtividade das parcelas e das subparcelas foram obtidos em gramas por planta individualmente, as quais foram transformados em sacas de café beneficiado por hectare, em função da população de cafeeiros por área (7.619 plantas.ha⁻¹).

3.10 Modelos utilizados

3.10.1 Altura de planta

Para caracterização da variação temporal da altura da planta (A_p , cm), para os três tratamentos, foi utilizado o seguinte modelo empírico, durante o período experimental (dois anos fenológicos):

$$A_p = a + b.DAI^{1.5} + c.DAI^2 + d.DAI^{2.5} \quad (9)$$

em que DAI se refere ao número de dias após início do experimento.

3.10.2 Índice de área foliar

Para caracterização da variação temporal do índice de área foliar (IAF, m².m⁻²), para os três tratamentos, foram utilizados os seguintes modelos empíricos para:

(i) o primeiro ano fenológico:

$$IAF = e^{a+b.Dr^3+c.e^{Dr}} \quad (10)$$

e (ii) o segundo ano fenológico:

$$IAF = e^{a+b.Dr^{2,5}+c.Dr^3} \quad (11)$$

em que Dr se refere ao desenvolvimento relativo da cultura.

3.10.3 Produção de fitomassa da parte aérea

Para caracterização da variação temporal da fitomassa seca de parte aérea (MMS_{pa} , $g.planta^{-1}$), para os três tratamentos, foram utilizados os seguintes modelos empíricos para:

(i) o primeiro ano fenológico:

$$MMS_{pa} = \frac{1}{a + b.Dr^{1,5} + c.Dr^{2,5}} \quad (12)$$

e (ii) o segundo ano fenológico:

$$MMS_{pa} = \frac{1}{a + b.Dr^{2,5} + c.Dr^3} \quad (13)$$

em que Dr se refere ao desenvolvimento relativo da cultura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados meteorológicos

Os valores mensais acumulados totais e médios das observações (temperatura do ar, umidade relativa, vento, precipitação pluvial e dias de chuva, radiação solar, fluxo de calor, pressão de vapor e estimativa de evapotranspiração potencial) realizadas pela estação meteorológica estão apresentados no ANEXO A.

4.2 Fenologia e graus-dia

Do ponto de vista prático, é fundamental correlacionar estágio fenológico (referência de manejo), número de dias após um evento de referência e número de graus-dia acumulado (Tabela 4).

Tabela 4 - Correspondência do número de dias após início do experimento com a fenologia do cafeeiro e número de graus-dia (°C.dia)

| Variedade | Ano agrícola | Floresc. | Estádio Fenológico ² | | | | | |
|-----------------|--------------|----------|---------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|-----------------|---------|
| | | | 0 | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 |
| Catuai | 2003/2004 | 14/09/03 | 1 - Gema entumecida | 6 - Expansão dos frutos | 7 - Grão verde | 8 - Verde cana | 9 - Cereja 20 % | ausente |
| vermelho IAC-44 | 2004/2005 | 10/09/04 | 1 - Gema entumecida | 6 - Expansão de frutos | 7 - Grão Verde | 8 - Verde cana | 9 - Cereja 40 % | ausente |

4.3 Parâmetros fitotécnicos

Os diferentes resultados referentes aos parâmetros fitotécnicos avaliados durante o período experimental serão apresentados a seguir.

4.3.1 Dados referentes a planta central na subparcela

A cada coleta, a planta central de cada subparcela foi avaliada quanto à altura da planta (Ap), aos diâmetros de copa inferior (Dci, cm) e superior (Dcs, cm) e quanto à altura da primeira inserção (A_{1a}, cm) de maneira a servir como parâmetro referencial para a escolha da planta a ser coletada na parcela. A análise de variância foi feita pelo teste F para todas os parâmetros citados acima, sendo que não houve diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das coletas. Para comparar as médias dos parâmetros observados, foi feita análise pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e os valores médios estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores médios (média de 5 repetições) absolutos referentes a altura de planta (Ap, cm), diâmetro de copa inferior (Dci, cm), diâmetro de copa superior (Dcs, cm) e altura da primeira inserção (A_{1a}, cm) avaliados na planta central de cada subparcela, por ocasião de cada coleta durante o período experimental

| DAI | Ap (cm) | | | Dci (cm) | | | Dcs (cm) | | | A _{1a} (cm) | | |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|
| | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₀ | T ₁ | T ₂ |
| 0 | 111,2 a | 116,4 a | 118,2 a | 115,2 a | 114,6 a | 108,6 a | 44,4 a | 46,2 a | 46,4 a | 29,2 a | 30,2 a | 29,4 a |
| 63 | 118,4 a | 125,0 a | 127,0 a | 115,9 a | 115,6 a | 109,3 a | 56,2 a | 55,7 a | 60,1 a | 29,2 a | 30,2 a | 29,4 a |
| 126 | 127,6 a | 134,6 ab | 137,4 b | 119,2 a | 119,8 a | 117,6 a | 59,6 a | 65,6 a | 66,2 a | 29,2 a | 30,2 a | 29,4 a |
| 182 | 136,2 a | 145,2 ab | 148,6 b | 122,3 a | 128,9 a | 122,7 a | 62,0 a | 74,2 b | 71,8 ab | 29,2 a | 30,2 a | 29,4 a |
| 243 | 146,4 a | 155,0 ab | 162,2 b | 129,0 a | 137,2 a | 134,5 a | 65,2 a | 75,3 b | 77,2 b | 29,2 a | 30,2 a | 29,4 a |
| 304 | 148,8 a | 158,4 ab | 168,2 b | 129,2 a | 138,0 a | 137,0 a | 67,0 a | 75,1 b | 76,4 b | 29,2 a | 30,2 a | 29,4 a |
| 366 | 153,4 a | 162,8 ab | 172,2 b | 128,4 a | 137,7 a | 138,2 a | 69,9 a | 76,9 a | 77,8 a | 29,2 a | 30,2 a | 29,4 a |
| 429 | 162,2 a | 172,2 ab | 181,8 b | 130,5 a | 140,6 ab | 142,6 b | 79,5 a | 80,4 a | 83,7 a | 29,2 a | 30,2 a | 29,4 a |
| 492 | 170,8 a | 178,8 a | 187,2 a | 132,8 a | 143,1 a | 144,5 a | 91,2 a | 91,8 a | 96,3 a | 29,2 a | 30,2 a | 29,4 a |
| 547 | 175,0 a | 187,4 ab | 196,6 b | 135,4 a | 146,9 b | 155,2 b | 92,6 a | 101,2 ab | 110,2 b | 29,2 a | 30,2 a | 29,4 a |
| 609 | 184,2 a | 200,0 ab | 206,0 b | 136,0 a | 147,8 b | 155,6 c | 87,6 a | 100,8 a | 103,6 a | 29,2 a | 30,2 a | 29,4 a |
| 669 | 186,8 a | 206,0 ab | 209,0 b | 136,5 a | 150,6 b | 157,0 b | 83,8 a | 105,9 a | 98,7 a | 29,2 a | 30,2 a | 29,4 a |

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si para cada coleta (teste de Tukey a 5% de probabilidade).

4.3.2 Altura da planta

O crescimento da planta em altura ocorre em diferentes ritmos e em diferentes épocas do ano, devido à interação de diversos fatores. Sabe-se que o cafeeiro é uma planta bastante adaptada quanto à variação da precipitação e quantidade de chuvas durante o ano. Durante o período experimental (anos agrícolas de 2003/2004 e 2004/2004), a quantidade de chuva obedeceu ao padrão da série normal para Piracicaba (Figura 24 - Anexo A). Não houve períodos críticos de estiagem (ver balanço hídrico - Tabela 42), com boa distribuição de chuvas, especialmente no segundo ano agrícola, apesar do somatório de precipitação ter sido menor do que o ano anterior.

A Figura 4 mostra a evolução do crescimento do cafeeiro em altura (altura de planta) para os dois anos agrícolas. O que pode ser observado é que as plantas apresentaram crescimento contínuo o ano todo, sendo que as taxas de crescimento absoluto foram decrescendo a partir do final da estação chuvosa (a partir dos meses de fevereiro e março) do primeiro ano fenológico (ano de baixa produção) (Figura 5). As referidas taxas foram sensivelmente menores durante o período mais seco do ano de 2004 e somente apresentaram elevação dos níveis de crescimento, a partir do final da última parcela da adubação mineral, no segundo ano fenológico. Vale salientar que a taxa de crescimento absoluto foi calculada a partir dos dados de altura de planta do modelo (equação 9).

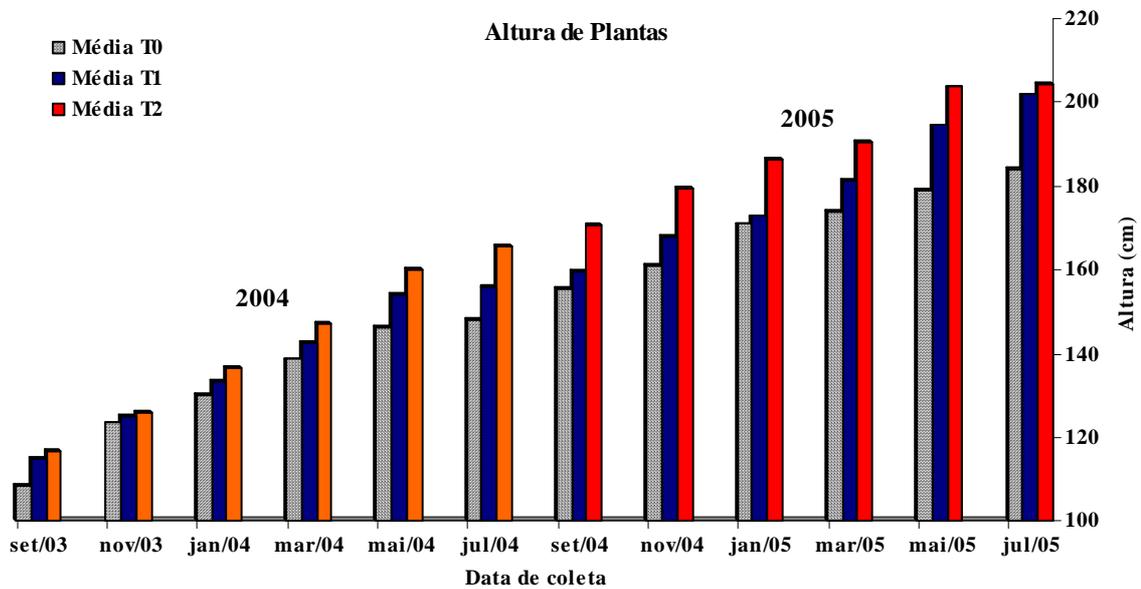


Figura 4 - Evolução do crescimento do cafeeiro em altura (Ap, cm) durante o período experimental (ano agrícola 2003/2004 e 2004/2005), para os diferentes tratamentos considerados

A variação temporal da altura da planta está representada pela Figura 5, elaborada a partir dos dados observados e dos dados calculados a partir do modelo de regressão (equação 9). O modelo apresentado é contemplado pelo teste F (Tabelas 6, 8 e 10) e pelos parâmetros de regressão (Tabelas 7, 9 e 11), para os três tratamentos.

O que pode ser observado é que ocorre uma ligeira paralisação no crescimento logo após a colheita (período de senescência de folhas), o que coincide exatamente com a estação mais seca e fria do ano (ano fenológico de baixa produtividade) ou a fase final de indução e maturação das gemas florais. Esse crescimento em altura é rapidamente retomado com o início da florada ou início das primeiras chuvas (aumento do potencial hídrico das gemas).

Em condições de campo, foi observado menor número de flores nas plantas das parcelas do tratamento T₁, em comparação com as plantas das parcelas do tratamento T₂. O menor crescimento dos ramos plagiotrópicos em T₁ pode ser devido ao menor crescimento durante o período vegetativo anterior. A menor indução e maturação das gemas podem estar associadas ao menor suprimento de nitrogênio à planta. Em função desse fato, pode-se observar que aquelas plantas que apresentaram menor número de flores e, conseqüentemente, menor número de frutos,

apresentaram maior desempenho em termos de crescimento em altura (e também em volume) após o final do período chuvoso do verão seguinte (janeiro a março de 2005), exatamente após a última parcela da adubação mineral do segundo ano fenológico. Nesse sentido, pode-se afirmar que prioridade do fluxo de fotoassimilados ocorreu para o crescimento da planta e não para os frutos.

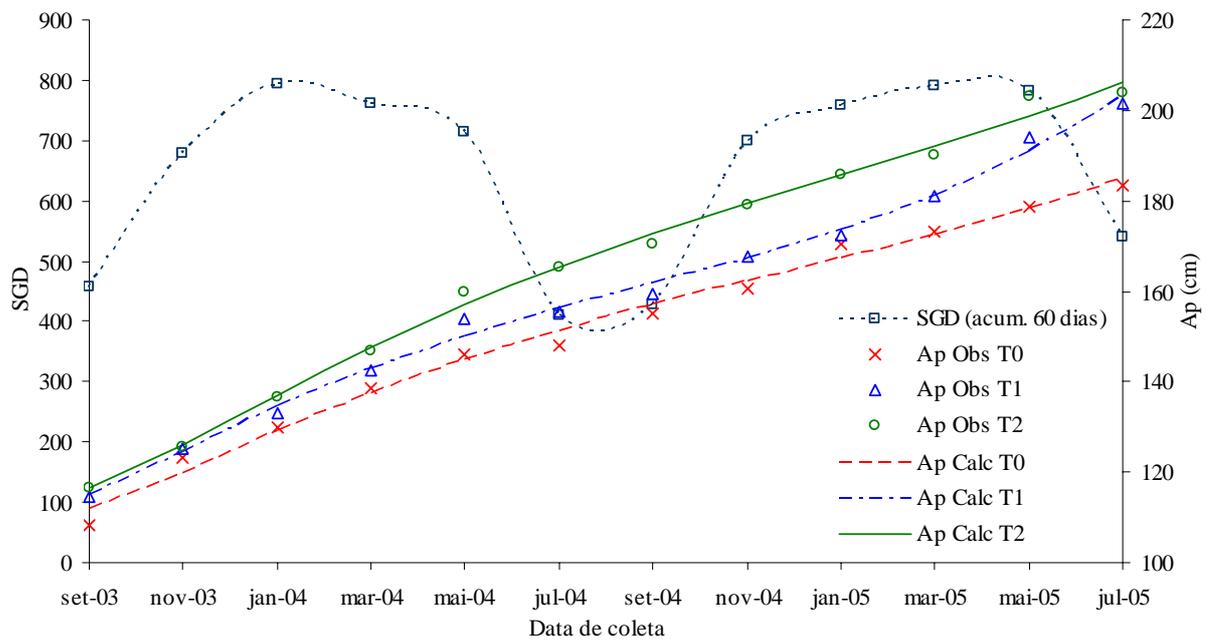


Figura 5 - Variação temporal da altura da planta (Ap, cm) (dados observados e calculados pelo modelo – equação 9) e soma de graus-dia (SGD, °C.dia – acumulado 60 dias) durante o desenvolvimento da cultura de café (tratamentos T₀, T₁ e T₂), para os dois anos fenológicos

Tabela 6 - Teste F referente à variação temporal da altura da planta (Ap, cm) (equação 9) em função do desenvolvimento da cultura de café referente à testemunha T₀, para os dois anos fenológicos

| Causa da variação | Soma de quadrados | Graus de liberdade | Quadrado médio | F |
|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------|
| Regressão | 5982,7697 | 3 | 1994,2566 | 277,476 |
| Erro | 57,496989 | 8 | 7,1871236 | |
| Total | 6040,2667 | 11 | | |

$r^2 = 0,9904810513$, $r^2 (aj) = 0,9850416520$, Erro padrão da curva = 2,6808811228

Tabela 7 - Parâmetros da equação de regressão (equação 9) da variação temporal da altura da planta (A_p , cm), erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente à testemunha T_0 , para os dois anos fenológicos

| Parâmetro | Valor | Erro Padrão | Valor t | Intervalo de Confiança (95%) | |
|-----------|-----------|-------------|----------|------------------------------|-----------|
| a | 111,67383 | 2,21618 | 50,39033 | 106,54548 | 116,80218 |
| b | 0,02821 | 0,00565 | 4,99150 | 0,01513 | 0,04129 |
| c | -0,00173 | 0,00048 | -3,58417 | -0,00285 | -0,00061 |
| d | 0,00003 | 0,00001 | 2,95141 | 0,00001 | 0,00006 |

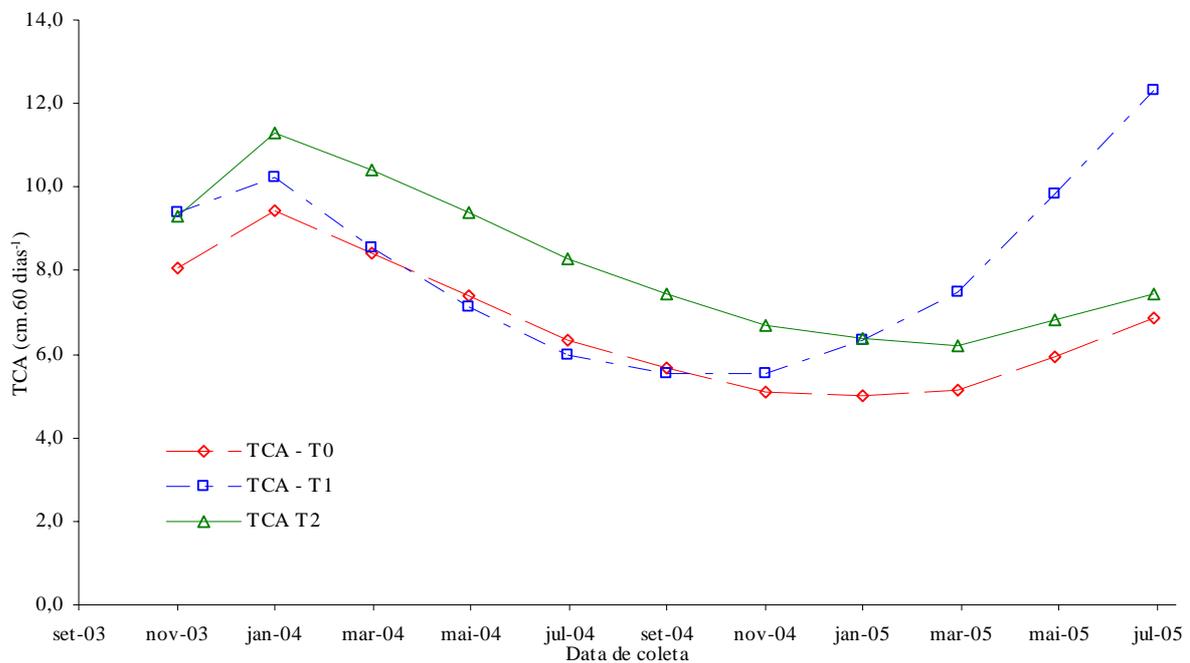


Figura 6 - Variação da taxa de crescimento absoluto [TCA, $\text{cm} \cdot (60\text{dias})^{-1}$] durante o período experimental (taxa calculada a partir da $A_{p\text{calc}}$) - tratamentos T_0 , T_1 e T_2

Tabela 8 - Teste F referente à variação temporal da altura da planta (A_p , cm) (equação 9) em função do desenvolvimento da cultura de café, referente ao tratamento T_1 para os dois anos fenológicos

| Causa da variação | Soma de quadrados | Graus de liberdade | Quadrado médio | F |
|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------|
| Regressão | 7836,3973 | 3 | 2612,1324 | 572,637 |
| Erro | 36,492666 | 8 | 4,5615833 | |
| Total | 7872,89 | 11 | | |

$r^2 = 0,995$, $r^2 (aj) = 0,993$, Erro padrão da curva = 2,136

Tabela 9 - Parâmetros da equação de regressão (equação 9) da variação temporal da altura da planta (Ap, cm), erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T₁, para os dois anos fenológicos

| Parâmetro | Valor | Erro Padrão | Valor t | Intervalo de Confiança (95%) | |
|-----------|-----------|-------------|----------|------------------------------|-----------|
| a | 114,81576 | 1,76557 | 65,03049 | 110,73014 | 118,90138 |
| b | 0,03552 | 0,00450 | 7,88734 | 0,02510 | 0,04593 |
| c | -0,00245 | 0,00039 | -6,35354 | -0,00334 | -0,00156 |
| d | 0,00005 | 0,00001 | 5,84263 | 0,00003 | 0,00007 |

Tabela 10 - Teste F referente à variação temporal da altura da planta (Ap, cm) (equação 9) em função do desenvolvimento da cultura de café referente ao tratamento T₂, para os dois anos fenológicos

| Causa da variação | Soma de quadrados | Graus de liberdade | Quadrado médio | F |
|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------|
| Regressão | 9294,308 | 3 | 3098,1027 | 591,825 |
| Erro | 41,878618 | 8 | 5,2348272 | |
| Total | 9336,1867 | 11 | | |

$r^2 = 0,99551438$, r^2 (aj) = 0,99295116, Erro padrão da curva = 2,28797448

Tabela 11 - Parâmetros da equação de regressão (equação 9) da variação temporal da altura da planta (Ap, cm), erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T₂, para os dois anos fenológicos

| Parâmetro | Valor | Erro Padrão | Valor t | Intervalo de Confiança (95%) | |
|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|-----------|
| a | 116,4649445 | 1,891376001 | 61,57683316 | 112,0882 | 120,84169 |
| b | 0,031569394 | 0,004823654 | 6,54470528 | 0,0204072 | 0,0427316 |
| c | -0,00183362 | 0,000413074 | -4,43896611 | -0,00279 | -0,000878 |
| d | 0,000031452 | 9,03275E-06 | 3,481994326 | 1,055E-05 | 5,235E-05 |

4.3.3 Índice de área foliar

Em estudos de comunidades vegetais agrícolas ou não, o índice de área foliar (IAF, $m^2.m^{-2}$) expressa a área foliar de uma planta ou o conjunto delas. O IAF é a relação entre a área foliar total da planta e a área de terreno (solo) disponível a ela. Dessa forma, esse índice depende diretamente da área foliar atingida, apresentando uma evolução em função do tempo ou da idade da planta.

Os valores referentes ao índice de área foliar avaliado durante o período experimental são apresentados na Tabela 12. Em função do crescimento e desenvolvimento da cultura, observou-se que ocorre um incremento máximo aproximado do índice de área foliar até o período compreendido entre o final da estação chuvosa e a colheita do ano agrícola. Em seguida, em função do período que coincide com o final do enchimento dos frutos, início da estação mais seca e fria do ano, colheita de frutos e senescência de folhas, ocorrem decréscimos gradativos do IAF, acentuando-se até próximo do ano agrícola seguinte. Se verificarmos após fase, observaremos que na dose maior de nitrogênio, o índice de área foliar se mantém relativamente alto após a colheita, o que poderia contribuir significativamente para o suprimento de fotoassimilados para o próximo ciclo fenológico, influenciando diretamente o aumento do número de flores do cafeeiro.

Nas diferentes doses estudadas, verificou-se que quanto maior for a adubação nitrogenada, maior será a área foliar. Em relação à testemunha (dose 0 kg.ha⁻¹ de nitrogênio), observou-se que os índices apresentados praticamente duplicaram quando foram aplicadas doses elevadas de nitrogênio. Conseqüentemente, essa expansão contribuirá para o aumento do índice de área foliar relacionado (Tabela 13).

Havendo pouca disponibilidade de nitrogênio no solo (dose 0 kg.ha⁻¹ de nitrogênio), o índice apresentado é inferior àquele considerado ideal para a cultura.

Tabela 12 - Variação do índice de área foliar (IAF, m².m⁻²) (média de 5 repetições), em função do número de dias após o início do experimento (DAI), correspondente aos três tratamentos (T₀; T₁; T₂), durante o período experimental (2003/2004 e 2004/2005)

| Trat. | DAI (dias após o início do experimento) | | | | | | | | | | | |
|----------------|---|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 63 | 126 | 182 | 243 | 304 | 366 | 429 | 492 | 547 | 609 | 669 |
| T ₀ | 0,6 a | 2,3 a | 5,0 a | 5,5 a | 4,9 a | 1,3 a | 1,1 a | 1,5 a | 3,0 a | 3,0 a | 4,3 a | 3,0 a |
| T ₁ | 0,6 a | 2,6 a | 5,7 a | 7,1 ab | 8,5 ab | 3,4 a | 1,7 a | 2,5 b | 5,4 b | 7,8 b | 7,8 b | 4,9 a |
| T ₂ | 0,6 a | 3,0 a | 5,6 a | 8,2 b | 9,7 b | 7,5 b | 2,8 b | 3,8 c | 5,4 b | 8,5 b | 8,4 b | 4,6 a |

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si para cada coleta (teste de Tukey a 5% de probabilidade).

Tabela 13 – Teste F referente à variação temporal do índice de área foliar (IAF) (equação 10) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente à testemunha T₀, ano fenológico 2004

| Causa da variação | Soma de quadrados | Graus de liberdade | Quadrado médio | F |
|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|--------|
| Regressão | 0,7923103 | 2 | 0,39615515 | 17,244 |
| Erro | 0,091893772 | 4 | 0,022973443 | |
| Total | 0,88420407 | 6 | | |

$r^2 = 0,89607176$, $r^2 (aj) = 0,792143521$, Erro padrão da curva = 0,151569928

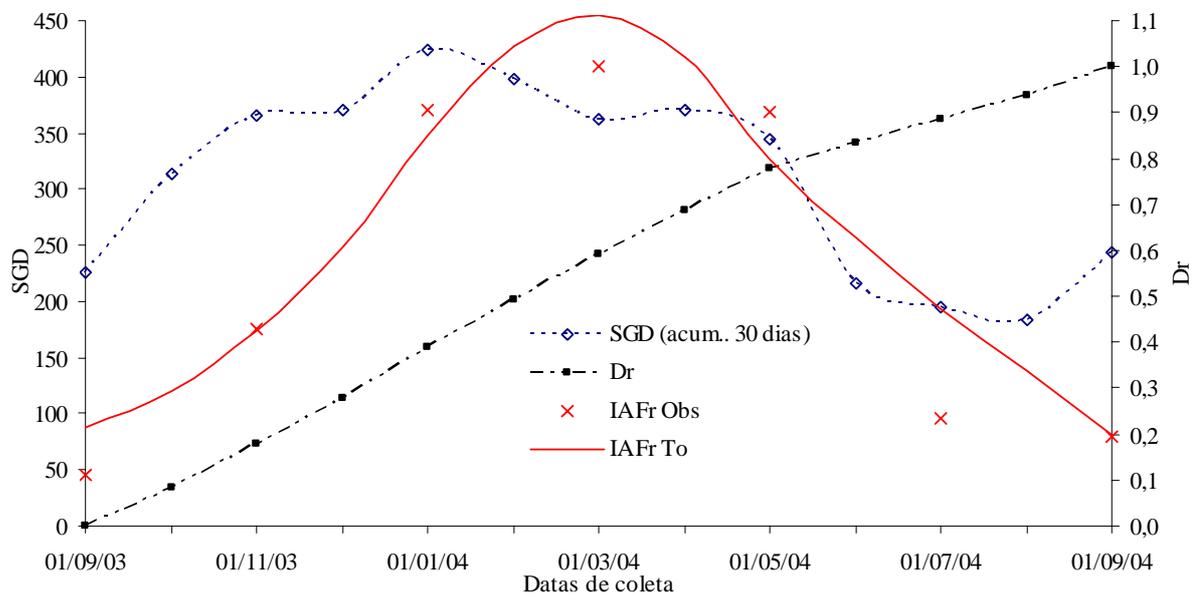


Figura 7 - Variação temporal do índice de área foliar (IAF) (dados observados e modelo – equação 10), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente à testemunha T₀, ano fenológico 2004

Tabela 14 - Parâmetros da equação de regressão (equação 10) da variação temporal do índice de área foliar (IAF), erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente à testemunha T₀, ano fenológico 2004

| Parâmetro | Valor | Erro Padrão | Valor t | Intervalo de Confiança (95%) | |
|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|-------------|
| a | -5,2270965 | 1,511011653 | -3,45933566 | -9,42747183 | -1,02672117 |
| b | -6,40986035 | 1,816566015 | -3,528559 | -11,4596289 | -1,36009184 |
| c | 3,686030293 | 1,076373268 | 3,424490746 | 0,693881483 | 6,678179104 |

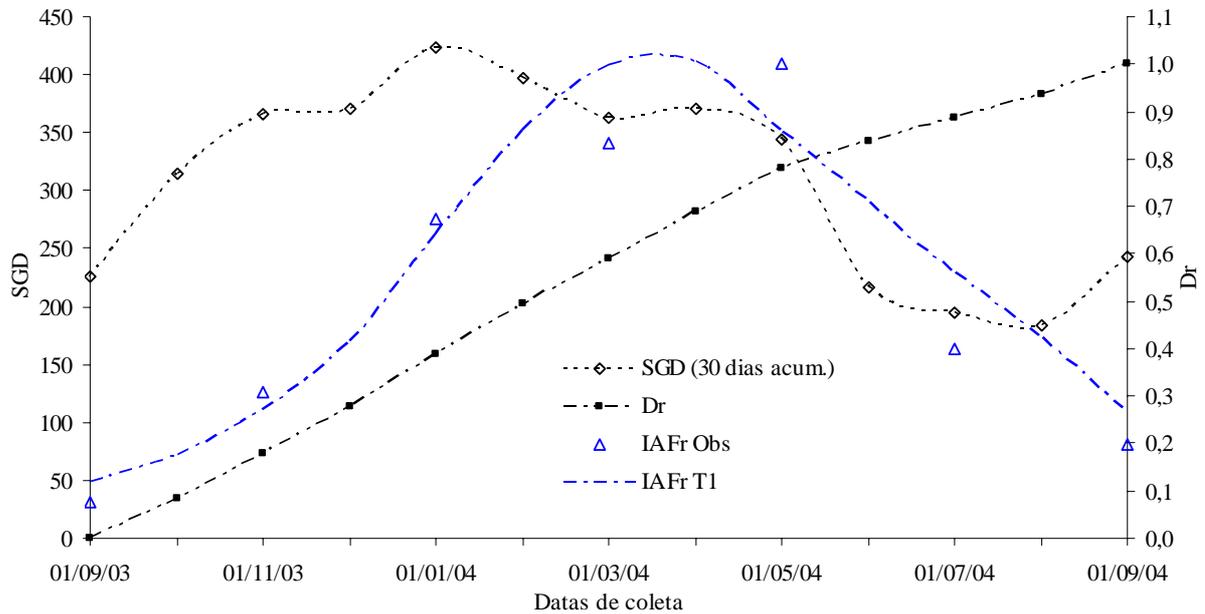


Figura 8 - Variação temporal do índice de área foliar (IAF) (dados observados e modelo – equação 10), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₁, ano fenológico 2004

Tabela 15 – Teste F referente à variação temporal do índice de área foliar (IAF) (equação 10) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₁, ano fenológico 2004

| Causa da variação | Soma de quadrados | Graus de liberdade | Quadrado médio | F |
|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------|
| Regressão | 0,63016449 | 2 | 0,31508224 | 15,3109 |
| Erro | 0,082315709 | 4 | 0,020578927 | |
| Total | 0,7124802 | 6 | | |

$r^2 = 0,884465969$, $r^2 (aj) = 0,768931939$, Erro padrão da curva = 0,143453572

Tabela 16 - Parâmetros da equação de regressão (equação 10) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T₁, ano fenológico 2004

| Parâmetro | Valor | Erro Padrão | Valor t | Intervalo de Confiança (95%) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|
| a | -6,47310886 | 1,756008769 | -3,68626226 | -11,3545377 -1,59167998 |
| b | -6,68020235 | 1,943637136 | -3,43695962 | -12,0832087 -1,27719606 |
| c | 4,34818345 | 1,226550976 | 3,545049114 | 0,938564172 7,757802729 |

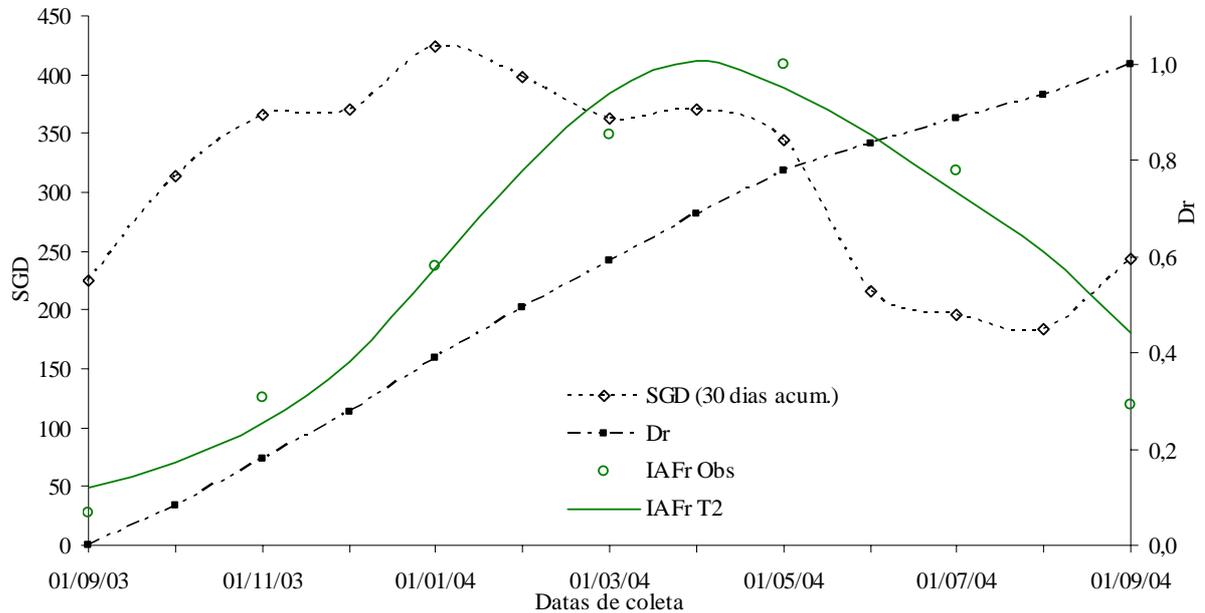


Figura 9 - Variação temporal do índice de área foliar (IAF) (dados observados e modelo – equação 10), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₂, ano fenológico 2004

Tabela 17 - Teste F referente à variação temporal do índice de área foliar (IAF) (equação 10) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₂, ano fenológico 2004

| Causa da variação | Soma de quadrados | Graus de liberdade | Quadrado médio | F |
|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------|
| Regressão | 0,66577655 | 2 | 0,33288828 | 33,6581 |
| Erro | 0,039561188 | 4 | 0,009890297 | |
| Total | 0,70533774 | 6 | | |

$r^2 = 0,94391171$, $r^2 (aj) = 0,887823419$, Erro padrão da curva = 0,099449973

Tabela 18 - Parâmetros da equação de regressão (equação 10) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T₂, ano fenológico 2004

| Parâmetro | Valor | Erro Padrão | Valor t | Intervalo de Confiança (95%) | |
|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|-------------|
| a | -6,05064146 | 1,142456638 | -5,29616727 | -9,22649167 | -2,87479124 |
| b | -5,48933869 | 1,143527712 | -4,80035475 | -8,66816632 | -2,31051106 |
| c | 3,943192963 | 0,780069256 | 5,054926766 | 1,774722816 | 6,11166311 |

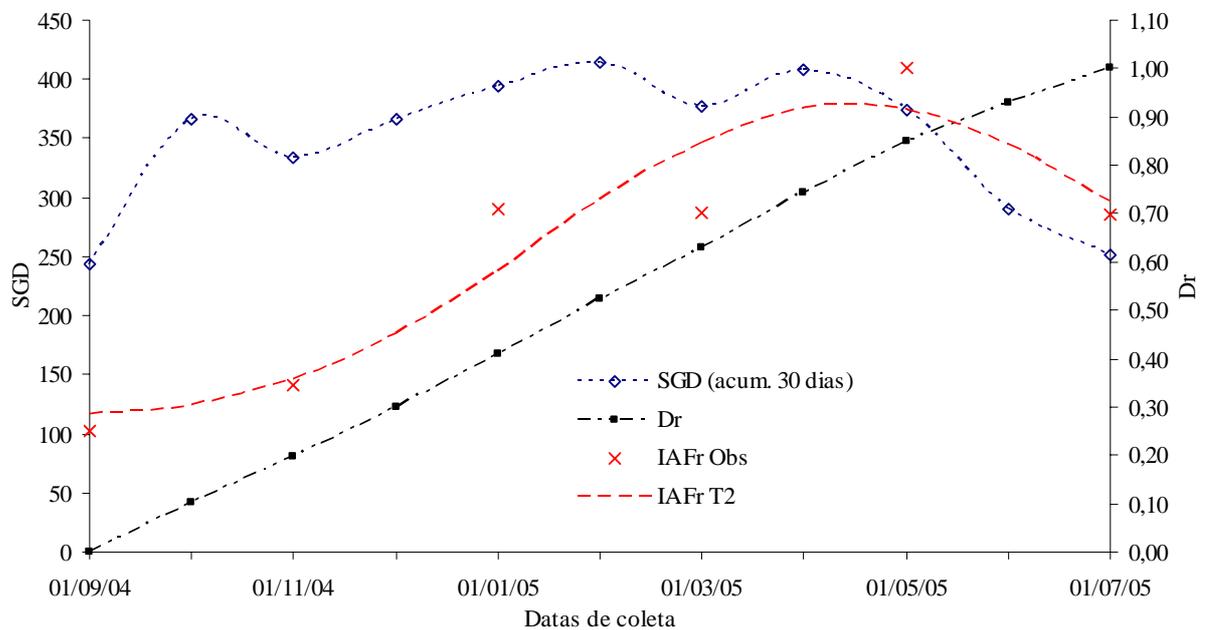


Figura 10 - Variação temporal do índice de área foliar (IAF) (dados observados e modelo – equação 11), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente à testemunha T₀, ano fenológico 2005

Tabela 19 - Teste F referente à variação temporal do índice de área foliar (equação 11) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente à testemunha T₀, ano fenológico 2005

| Causa da variação | Soma de quadrados | Graus de liberdade | Quadrado médio | F |
|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------|
| Regressão | 0,33050472 | 2 | 0,16525236 | 10,7501 |
| Erro | 0,046116473 | 3 | 0,015372158 | |
| Total | 0,37662119 | 5 | | |

$r^2 = 0,877552103$, $r^2 (aj) = 0,693880257$, Erro padrão da curva = 0,123984506

Tabela 20 - Parâmetros da equação de regressão (equação 11) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente à testemunha T₀, ano fenológico 2005

| Parâmetro | Valor | Erro Padrão | Valor t | Intervalo de Confiança (95%) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|
| a | 0,28621525 | 0,087597248 | 3,267400024 | 0,009509738 0,562920762 |
| b | 6,901946481 | 1,967820608 | 3,507406343 | 0,685920046 13,11797292 |
| c | -6,46483119 | 1,966714328 | -3,28712264 | -12,6773631 -0,25229931 |

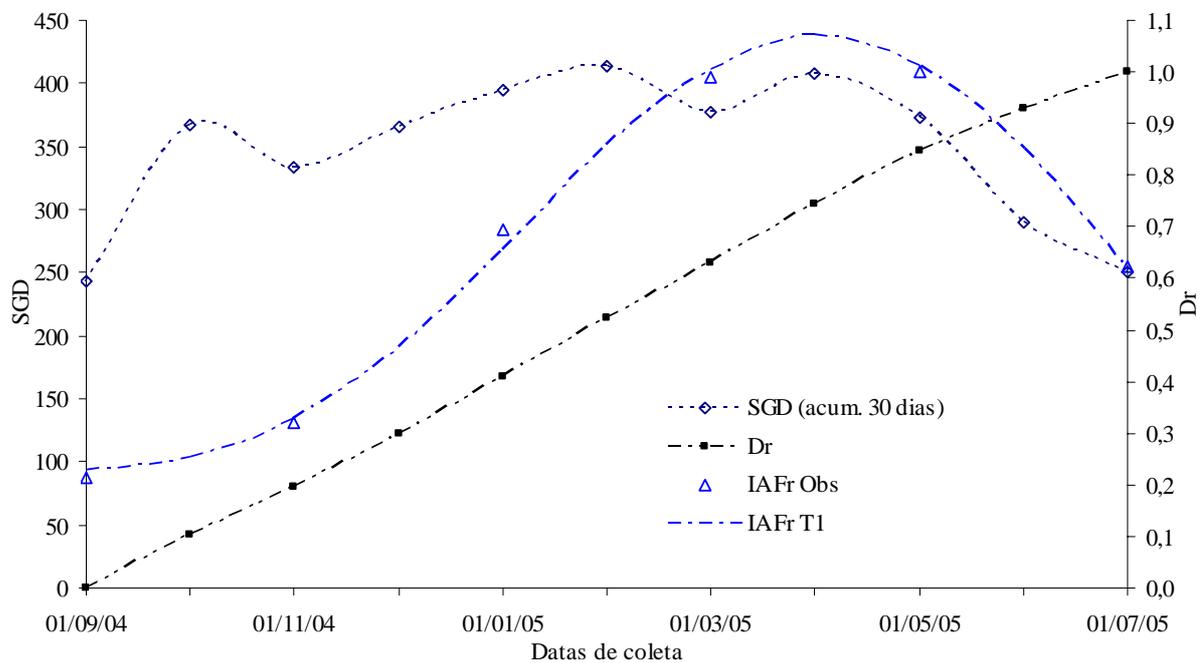


Figura 11 - Variação temporal do índice de área foliar (IAF) (dados observados e modelo – equação 11), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₁, ano fenológico 2005

Tabela 21 - Teste F referente à variação temporal do índice de área foliar (equação 11) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₁, ano fenológico 2005

| Causa da variação | Soma de quadrados | Graus de liberdade | Quadrado médio | F |
|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------|
| Regressão | 0,53724753 | 2 | 0,26862376 | 392,496 |
| Erro | 0,002053195 | 3 | 0,000684398 | |
| Total | 0,53930072 | 5 | | |

$r^2 = 0,996192857$, $r^2 (aj) = 0,990482143$, Erro padrão da curva = 0,026161007

Tabela 22 - Parâmetros da equação de regressão (equação 11) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T₁, ano fenológico 2005

| Parâmetro | Valor | Erro Padrão | Valor t | Intervalo de Confiança (95%) | |
|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|-------------|
| a | 0,226962197 | 0,018483214 | 12,27936839 | 0,168576718 | 0,285347676 |
| b | 10,43513996 | 0,415214527 | 25,13192403 | 9,12354455 | 11,74673537 |
| c | -10,0450454 | 0,4149811 | -24,2060312 | -11,3559035 | -8,7341874 |

4.3.4 Diâmetro de copa

Tabela 23 - Variação do diâmetro de copa (Dci, cm) (média de 5 repetições), em função do número de dias após o início do experimento (DAI), correspondente aos três tratamentos (T₀; T₁; T₂), durante o período experimental (2003/2004 e 2004/2005)

| Trat. | DAI (dias após o início do experimento) | | | | | | | | | | | |
|----------------|---|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0 | 63 | 126 | 182 | 243 | 304 | 366 | 429 | 492 | 547 | 609 | 669 |
| T ₀ | 106,3 a | 110,0 a | 110,8 a | 112,6 a | 113,9 a | 115,5 a | 116,9 a | 119,3 a | 127,9 a | 128,1 a | 131,2 a | 139,2 a |
| T ₁ | 107,4 a | 112,3 a | 114,4 a | 121,9 ab | 131,3 b | 131,9 b | 132,0 b | 133,5 b | 140,7 b | 150,5 b | 154,4 b | 158,3 b |
| T ₂ | 106,5 a | 116,8 a | 117,0 a | 126,0 b | 132,7 b | 139,2 b | 139,2 b | 140,4 b | 141,7 b | 156,7 b | 157,7 b | 158,5 b |

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si para cada coleta (teste de Tukey a 5% de probabilidade).

Tabela 24 - Variação do diâmetro de copa (Dcs, cm) (média de 5 repetições), em função do número de dias após o início do experimento (DAI), correspondente aos três tratamentos (T₀; T₁; T₂), durante o período experimental (2003/2004 e 2004/2005)

| Trat. | DAI (dias após o início do experimento) | | | | | | | | | | | |
|----------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 63 | 126 | 182 | 243 | 304 | 366 | 429 | 492 | 547 | 609 | 669 |
| T ₀ | 46,3 a | 54,1 a | 61,2 a | 64,2 a | 64,9 a | 66,7 a | 67,3 a | 71,5 a | 81,2 a | 82,9 a | 85,2 a | 86,5 a |
| T ₁ | 47,7 a | 53,9 a | 64,7 a | 72,7 b | 73,2 b | 72,5 b | 72,7 b | 77,1 b | 88,3 b | 90,9 b | 94,5 b | 96,9 b |
| T ₂ | 46,3 a | 58,2 a | 64,6 a | 75,1 b | 74,7 b | 75,7 b | 75,7 b | 80,0 b | 90,1 b | 92,7 b | 96,2 b | 97,0 b |

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si para cada coleta (teste de Tukey a 5% de probabilidade).

4.3.5 Volume de copa

Tabela 25 - Variação do volume de copa (V_{copa} , m^3) (média de 5 repetições), em função do número de dias após o início do experimento (DAI), correspondente aos três tratamentos (T_0 ; T_1 ; T_2), durante o período experimental (2003/2004 e 2004/2005)

| Trat. | DAI (dias após o início do experimento) | | | | | | | | | | | |
|-------|---|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 63 | 126 | 182 | 243 | 304 | 366 | 429 | 492 | 547 | 609 | 669 |
| T_0 | 0,29 a | 0,38 a | 0,45 a | 0,51 a | 0,55 a | 0,58 a | 0,64 a | 0,70 a | 0,91 a | 0,95 a | 1,03 a | 1,15 a |
| T_1 | 0,31 a | 0,39 a | 0,50 a | 0,62 ab | 0,78 b | 0,79 b | 0,80 b | 0,90 b | 1,14 b | 1,30 b | 1,51 b | 1,69 b |
| T_2 | 0,31 a | 0,44 a | 0,54 a | 0,70 b | 0,83 b | 0,95 c | 0,97 c | 1,09 c | 1,23 b | 1,49 b | 1,66 c | 1,71 b |

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si para cada coleta (teste de Tukey a 5% de probabilidade).

4.3.6 Produtividade de café

Os valores referentes à produtividade, para os dois anos agrícolas, estão resumidos na Tabela 26.

Tabela 26 - Número de plantas (NP), produtividade de café em coco (kg.UA^{-1}) e de café beneficiado (CB_g , g.planta^{-1} e CB_s , sacas.ha^{-1}) referentes aos diferentes tratamentos (T)

| T | NP | | Café em coco | | Café beneficiado | | | |
|------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|-----------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 2003/2004 | 2004/2005 | 2003/2004 | 2004/2005 | 2003/2004 | | 2004/2005 | |
| | Plantas.UA ⁻¹ | Plantas.UA ⁻¹ | kg.UA ⁻¹ | | CB _g | CB _s | CB _g | CB _s |
| PARCELA | | | | | | | | |
| T_0 | 56 | 50 | 5,2 | 6,2 | 46,2 | 5,8 | 56,7 | 7,2 |
| T_1 | 39 | 33 | 2,6 | 13,8 | 37,1 | 4,7 | 161,6 | 20,5 |
| T_2 | 77 | 71 | 6,9 | 89,5 | 48,6 | 6,2 | 582,0 | 73,9 |
| SUBPARCELA | | | | | | | | |
| T_0 | 9 | 9 | 0,5 | 0,8 | 30,5 | 3,9 | 38,7 | 4,9 |
| T_1 | 9 | 9 | 0,7 | 2,3 | 38,8 | 4,9 | 112,8 | 14,3 |
| T_2 | 9 | 9 | 0,7 | 11,0 | 38,1 | 4,8 | 625,3 | 79,4 |
| TOTAL | | | | | | | | |
| T_0 | 65 | 59 | 5,8 | 7,0 | 44,1 | 5,6 | 54,6 | 6,9 |
| T_1 | 48 | 42 | 3,2 | 16,1 | 37,4 | 4,7 | 159,8 | 20,3 |
| T_2 | 86 | 80 | 7,5 | 100,5 | 47,6 | 6,1 | 593,1 | 75,3 |

* UA: parcela ou subparcela ou parcela + subparcela (total)

A Figura 12 se refere à produtividade total da parcela também para os dois anos agrícolas. O que pode ser observado é que a produtividade no primeiro ano agrícola (ano de baixa

produtividade) foi baixa para os três tratamentos, não havendo diferença significativa entre os mesmos.

A baixa produtividade no primeiro ano agrícola é atribuída tanto à idade do cafezal (três anos) como também em relação ao aspecto nutricional em que se encontravam as plantas inicialmente.

Como o aumento de produtividade, em função da adubação, somente irá se refletir a partir do segundo ano fenológico, é de se esperar que não haja aumento ou diferença significativa entre as produtividades dos tratamentos do primeiro ano fenológico.

Para o segundo agrícola, é possível observar que a produtividade do tratamento T_2 é praticamente o triplo da produtividade do tratamento T_1 , indicando que as plantas que receberam maiores níveis de nitrogênio apresentaram maior crescimento de ramos e maior retenção de folhas até o final da metade do ciclo fenológico. Tal crescimento pode se refletir em maior número de flores, pelo maior número de gemas induzidas e maduras, se associado ao maior suprimento de nitrogênio à planta. Nesse sentido, o que pode ser comentado é que a produtividade do tratamento T_1 no segundo ano agrícola estaria estritamente relacionada com o inferior suprimento de nitrogênio durante o primeiro ano fenológico.

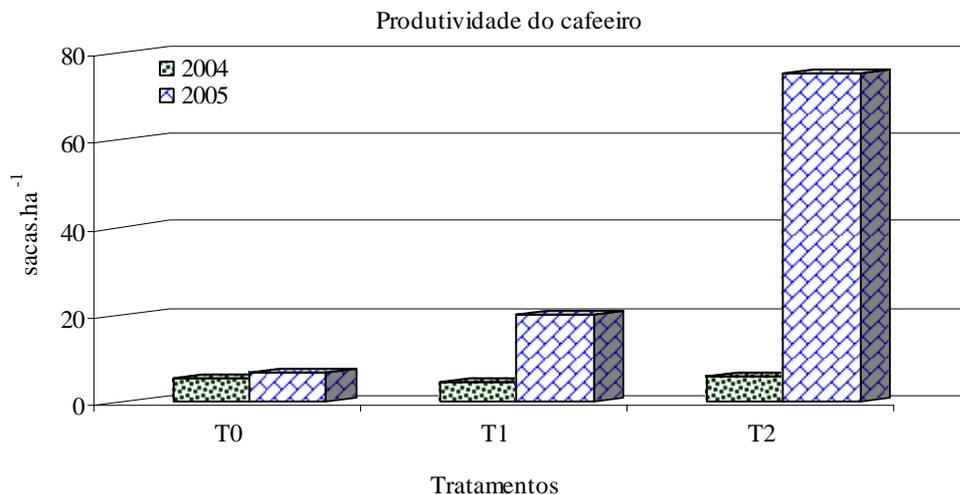


Figura 12 - Produtividade do cafeeiro em sacas.ha⁻¹ durante os dois anos agrícolas considerados (2003/2004 e 2004/2005) para os diferentes tratamentos (T_0 , T_1 , T_2)

4.3.6.1 Produção de fitomassa seca de raiz

Na Tabela 27 estão apresentados os valores referentes à massa de matéria seca de raiz (MMS_{raiz}), massa de matéria seca da parte aérea (MMS_{pa}) e massa de matéria seca total (MMS_{total}).

Os resultados são referentes à amostragem de raízes de duas plantas por parcela efetuada por ocasião da sétima coleta de plantas (01/09/2004). O que pode ser observado, é que para esse período, em que a planta apresenta valores relativos inferiores de massa de matéria seca de folhas, o percentual médio de raízes é ligeiramente superior ao apresentado pela parte aérea. Pode-se notar ainda uma tendência no aumento na quantidade de raízes para o tratamento que recebeu maior dose de nitrogênio, em relação à testemunha.

Tabela 27 - Massa de matéria seca de raízes (MMS_{raiz} , $g.planta^{-1}$), da parte aérea (MMS_{pa} , $g.planta^{-1}$) e total (MMS_{total} , $g.planta^{-1}$) e porcentagem em relação ao total da planta, avaliada por ocasião da amostragem de raízes em 01/09/2004, média de 2 plantas por tratamento

| Tratamento | MMS_{raiz} | | MMS_{pa} | | MMS_{total} |
|----------------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|
| | $g.planta^{-1}$ | % | $g.planta^{-1}$ | % | $g.planta^{-1}$ |
| T ₀ | 1.240,0 | 0,55 | 1.025,4 | 0,45 | 2.265,5 |
| T ₁ | 1.449,1 | 0,55 | 1.189,2 | 0,45 | 2.638,3 |
| T ₂ | 1.654,4 | 0,57 | 1.247,1 | 0,43 | 2.901,5 |

A Figura 13 representa os valores percentuais médios (média dos três tratamentos, duas plantas por parcela) da massa de matéria seca de raízes, nas diferentes distâncias em relação ao tronco do cafeeiro e nas diferentes profundidades amostradas.

A amostragem ocorreu por ocasião da primeira coleta do ano agrícola 2004/2005, não havendo diferença significativa entre os tratamentos para os diferentes pontos amostrados. Os resultados encontrados nesta avaliação estão bem próximos aos relatados em diversos trabalhos encontrados na literatura, ou seja, pouco mais de 55% das raízes do cafeeiro se encontram próximas ao tronco e/ou estão a uma profundidade não superior a 20 cm.

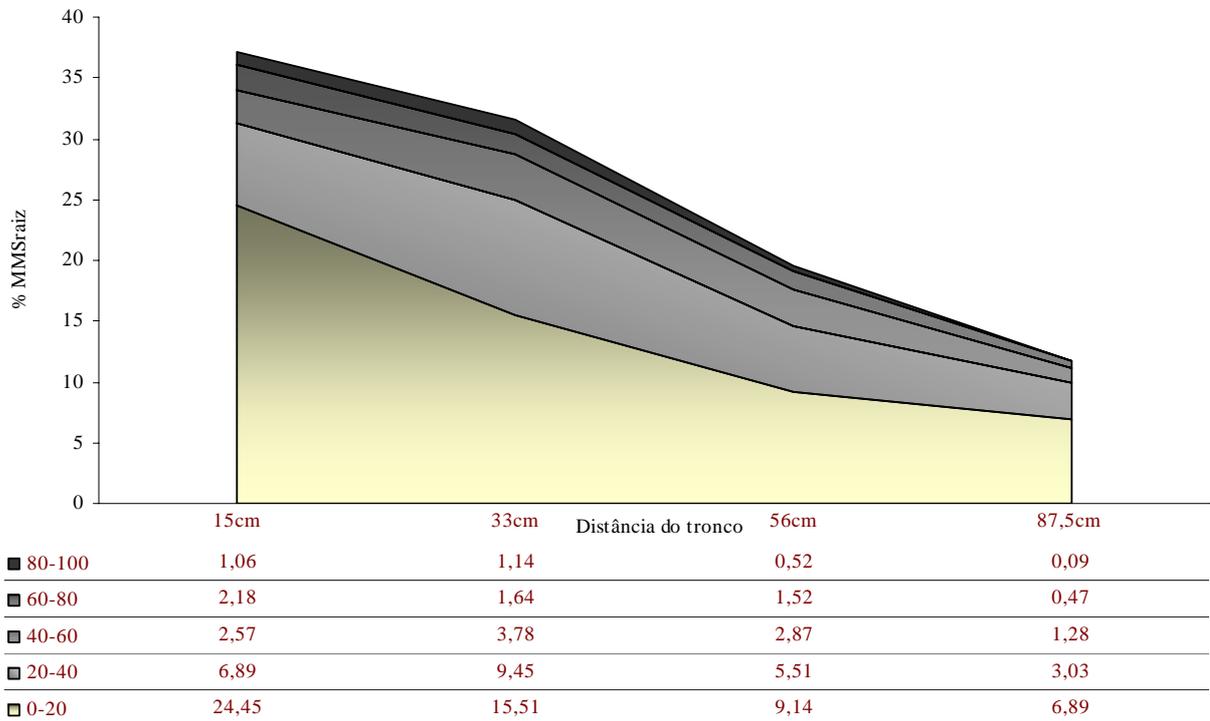


Figura 13 - Porcentagem da massa de matéria seca de raízes (MMS_{raiz}) nas diferentes profundidades amostradas (0-20cm; 20-40cm; 40-60cm; 60-80cm e 80-100cm) e nas quatro distâncias (15cm; 33cm; 56cm e 87,5cm) em relação ao tronco da planta de cafeeiro

4.3.6.2 Produção de fitomassa seca de caule

A produção de fitomassa seca média de caule está apresentada na Tabela 28.

Tabela 28 - Variação da massa de matéria seca do caule (MMS_{caule} , g.planta⁻¹) (média de 5 repetições), em função do número de dias após o início do experimento (DAI), correspondente aos três tratamentos (T_0 ; T_1 ; T_2), durante o período experimental

| Trat. | Dias após o início do experimento (DAI) | | | | | | | | | | | |
|-------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|---------|
| | 0 | 63 | 126 | 182 | 243 | 304 | 366 | 429 | 492 | 547 | 609 | 669 |
| T_0 | 288,1 a | 315,7 a | 377,9 a | 411,7 a | 512,0 a | 542,8 a | 637,9 a | 586,7 a | 591,6 a | 647,9 a | 776,4 a | 821,7 a |
| T_1 | 305,5 a | 287,7 a | 368,9 a | 450,6 a | 603,0 a | 616,2 a | 702,0 a | 716,4 ab | 753,9 a | 951,1 a | 926,6 ab | 945,3 a |
| T_2 | 320,3 a | 304,9 a | 371,1 a | 413,7 a | 578,0 a | 674,9 a | 741,5 a | 796,2 b | 763,5 a | 917,8 a | 1081,0 b | 986,6 a |

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si para cada coleta (teste de Tukey a 5% de probabilidade).

A massa de matéria seca do caule do cafeeiro aumentou em média, no período de 0 a 669 dias após o início do experimento, 1,228; 1,413 e 1,475 gramas por planta para os tratamentos T₀, T₁ e T₂, respectivamente. Apesar de não haver diferença estatística significativa (ao nível de 5% de probabilidade) em 10 das 12 épocas de amostragens; poder-se-ia constatar, utilizando maior nível de significância, uma predominância dos valores observados referentes ao tratamento T₂ serem superiores aos valores observados em T₁ (em 9 das 12 épocas de amostragens), que por sua vez são sistematicamente superiores aos valores observados em T₀ (em 10 das 12 épocas de amostragens) (Tabela 28).

4.3.6.3 Produção de fitomassa seca de ramos

A produção de fitomassa seca média de ramos está apresentada na Tabela 29.

Tabela 29 - Variação da massa de matéria seca dos ramos (MMS_{ramo} , g.planta⁻¹) (média de 5 repetições), em função do número de dias após o início do experimento (DAI), correspondente aos três tratamentos (T₀; T₁; T₂), durante o período experimental

| Trat. | Dias após o início do experimento (DAI) | | | | | | | | | | | |
|----------------|---|---------|---------|----------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | 0 | 63 | 126 | 182 | 243 | 304 | 366 | 429 | 492 | 547 | 609 | 669 |
| T ₀ | 56,3 a | 105,9 a | 174,9 a | 203,3 a | 239,1 a | 285,0 a | 200,2 a | 222,6 a | 198,9 a | 193,5 a | 240,5 a | 264,8 a |
| T ₁ | 71,2 a | 109,8 a | 176,7 a | 255,6 ab | 378,5 a | 417,7 ab | 239,3 a | 350,1 a | 335,8 a | 385,5 b | 410,1 a | 359,2 ab |
| T ₂ | 72,8 a | 120,3 a | 174,0 a | 278,6 b | 391,6 a | 513,1 b | 319,8 b | 499,1 b | 374,3 a | 441,3 b | 486,2 c | 443,8 b |

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si para cada coleta (teste de Tukey a 5% de probabilidade).

A massa de matéria seca dos ramos do cafeeiro aumentou em média, no período de 0 a 304 dias após o início do experimento, 0,938; 1,374 e 1,688 gramas por planta para os tratamentos T₀, T₁ e T₂, respectivamente; e aumentou em média, no período de 366 a 669 dias após o início do experimento (período de 303 dias), 0,213; 0,396 e 0,409 gramas por planta para os tratamentos T₀, T₁ e T₂, respectivamente. Cabe salientar que a primeira colheita ocorreu aos 263 dias após o início do experimento (20 de maio de 2004) e que a segunda colheita ocorreu aos 639 dias após o início do experimento (30 de maio de 2005) (Tabela 29).

Aos 0, 63, 126, 243 e aos 492 dias após o início do experimento, não houve diferença estatística significativa (ao nível de 5% de probabilidade). Porém, análogo ao que foi constatado para o caule, observou-se uma predominância dos valores observados referentes ao tratamento T₂ serem superiores aos valores observados em T₁ (em 11 das 12 épocas de amostragens), que por

sua vez são sistematicamente superiores aos valores observados em T₀ (em 12 das 12 épocas de amostragens) (Tabela 29).

Sendo assim, verifica-se que há efeito positivo da adubação nitrogenada na produção de ramos e de caule; porém, o resultado é mais efetivo nos ramos que no caule.

4.3.6.4 Produção de fitomassa seca de folhas

A produção de fitomassa seca média de folhas está apresentada na Tabela 30.

Tabela 30 - Variação da massa de matéria seca de folhas (MMS_{folha}, g.planta⁻¹) (média de 5 repetições), em função do número de dias após o início do experimento (DAI), correspondente aos três tratamentos (T₀; T₁; T₂), durante o período experimental

| Trat. | Dias após o início do experimento (DAI) | | | | | | | | | | | |
|----------------|---|---------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0 | 63 | 126 | 182 | 243 | 304 | 366 | 429 | 492 | 547 | 609 | 669 |
| T ₀ | 65,7 a | 218,8 a | 504,1 a | 532,9 a | 495,6 a | 140,7 a | 126,8 a | 170,1 a | 271,5 a | 352,0 a | 472,5 a | 315,2 a |
| T ₁ | 67,9 a | 243,7 a | 553,2 a | 727,8 ab | 882,3 ab | 350,9 a | 170,9 a | 248,4 b | 487,0 a | 765,7 b | 868,9 b | 509,0 a |
| T ₂ | 70,1 a | 265,1 a | 522,3 a | 815,7 b | 1071,4 b | 743,6 b | 292,9 b | 392,3 c | 444,5 a | 758,4 b | 777,8 b | 452,0 a |

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si para cada coleta (teste de Tukey a 5% de probabilidade).

Pode-se observar que as diferenças significativas entre tratamentos ocorrem a partir da quarta coleta plantas, ou seja, 182 dias após o início (DAI) do experimento e trinta dias após a última aplicação do fertilizante nitrogenado.

Não houve diferença significativa entre a testemunha e o tratamento T₁ até o final do primeiro ano fenológico, sendo que também este tratamento não apresentou diferença significativa com o tratamento T₂ até a quinta coleta (243 DAI).

Diferenças significativas foram verificadas entre o tratamento T₂ e a testemunha a partir da quarta coleta experimental, sendo que as médias desse tratamento diferiram significativamente em relação ao tratamento T₁ aos 304 DAI. Nesse sentido pode-se dizer que o tratamento que recebeu maior dose de nitrogênio reteve maior número de folhas por um período mais longo do que aquele apresentado pelo tratamento T₁.

No segundo ano fenológico, o acúmulo de massa de matéria seca é diferente em relação ao primeiro ano. Aos 366 DAI, observa-se diferença significativa somente entre a testemunha e o tratamento T₂. A partir deste momento, T₁ e T₂ já não diferem significativamente entre si até a décima primeira coleta experimental.

Dos resultados aqui apresentados, o que pode ser observado é que ocorre houve uma ligeira tendência de redução da massa de matéria seca de folhas para o tratamento T₂ em relação a T₁ a partir da nona coleta. Essa tendência pode ser devida ao redirecionamento de fotoassimilados das folhas para os grãos em T₂, já que em T₁, tal lógica do crescimento de folhas foi mais intensa.

4.3.6.5 Produção de fitomassa da parte aérea

A produção de fitomassa seca média da parte aérea (MMS_{folha}) está apresentada na Tabela 31.

Assim como foi apresentado em MMS_{folha}, pode-se observar que as diferenças significativas entre tratamentos ocorrem também a partir da quarta coleta de plantas, ou seja, 182 dias após o início do experimento e trinta dias após a última aplicação do fertilizante nitrogenado (primeiro ano agrícola).

Não houve diferença significativa entre a testemunha e o tratamento T₁ até o final do primeiro ano fenológico (366 DAI).

O tratamento T₂ não difere significativamente de T₁ até a sétima coleta (366 DAI), mas difere de T₀ da quarta coleta até a décima primeira e penúltima coleta (609 DAI).

Há diferença significava entre T₁ e T₀ a partir de novembro (429 DAI) até a penúltima coleta (609 DAI), que coincide com a proximidade da colheita.

Em função da produtividade elevada de T₂, nessa coleta de plantas ocorre diferenças significativas entre as médias dos dois tratamentos que recebem adubação nitrogenada (T₁ e T₂), mas não há diferenças significativas verificadas entre as médias dos três tratamentos na décima segunda e última coleta de plantas.

Tabela 31 - Variação da massa de matéria seca da parte aérea (MMS_{pa}, g.planta⁻¹) (média de 5 repetições), em função do número de dias após o início do experimento (DAI), correspondente aos três tratamentos (T: T₀; T₁; T₂), durante o período experimental

| T | DAI (dias após o início do experimento) | | | | | | | | | | | |
|----------------|---|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 0 | 63 | 126 | 182 | 243 | 304 | 366 | 429 | 492 | 547 | 609 | 669 |
| T ₀ | 410,2 a | 643,0 a | 1071,0 a | 1202,8 a | 1368,5 a | 968,5 a | 978,5 a | 988,9 a | 1084,9 a | 1243,1 a | 1555,9 a | 1401,7 a |
| T ₁ | 444,7 a | 646,2 a | 1152,0 a | 1541,3 ab | 1939,9 ab | 1384,8 ab | 1131,3 ab | 1354,3 b | 1824,1 b | 2554,8 b | 2638,1 b | 1813,5 a |
| T ₂ | 463,2 a | 693,4 a | 1106,8 a | 1661,2 b | 2223,5 b | 1931,6 b | 1394,4 b | 1767,5 c | 2160,0 b | 3012,6 b | 3943,3 c | 1882,4 a |

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si para cada coleta (teste de Tukey a 5% de probabilidade).

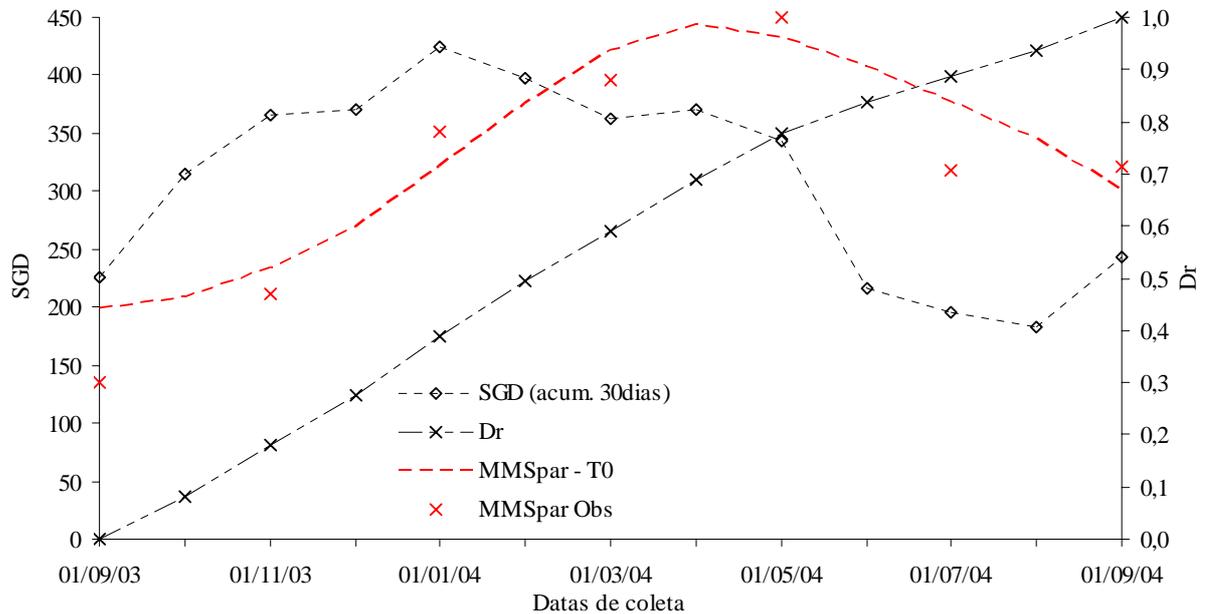


Figura 14 - Variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (dados observados e modelo – equação 12), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente à testemunha (T₀), ano fenológico 2004

Tabela 32 - Teste F referente à variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (equação 12) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente à testemunha T₀, ano fenológico 2004

| Causa da variação | Soma de quadrados | Graus de liberdade | Quadrado médio | F |
|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------|
| Regressão | 0,29071438 | 2 | 0,14535719 | 11,3451 |
| Erro | 0,051249292 | 4 | 0,012812323 | |
| Total | 0,34196367 | 6 | | |

$r^2 = 0,85013235$, $r^2 (aj) = 0,7002647$, Erro padrão da curva = 0,113191532.

Tabela 33 - Parâmetros da equação de regressão (equação 12) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T₀, ano fenológico 2004

| Parâmetro | Valor | Erro Padrão | Valor t | Intervalo de Confiança (95%) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|
| a | 2,272820805 | 0,397785395 | 5,713685908 | 1,167039816 3,378601794 |
| b | -5,35912363 | 1,845525472 | -2,90384702 | -10,4893949 -0,22885237 |
| c | 4,581908808 | 1,605932035 | 2,853115019 | 0,117669708 9,046147907 |

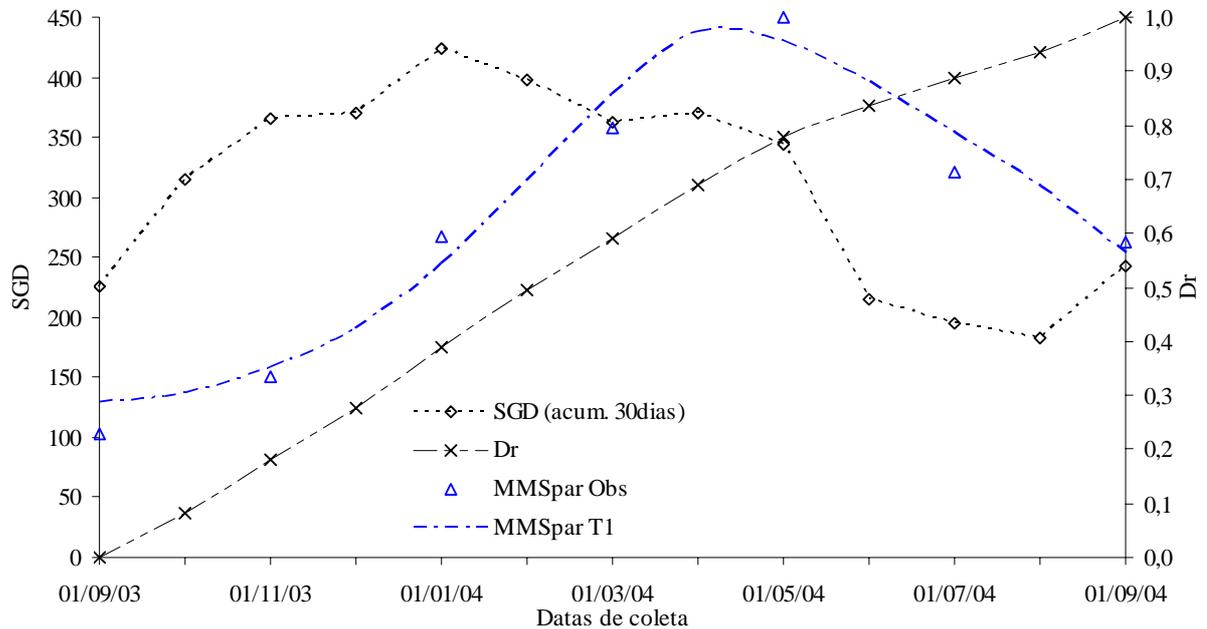


Figura 15 - Variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (dados observados e modelo – equação 12), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₁, ano fenológico 2004

Tabela 34 - Teste F referente à variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (equação 12) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₁, ano fenológico 2004

| Causa da variação | Soma de quadrados | Graus de liberdade | Quadrado médio | F |
|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------|
| Regressão | 0,40208134 | 2 | 0,20104067 | 46,1476 |
| Erro | 0,017425876 | 4 | 0,004356469 | |
| Total | 0,41950722 | 6 | | |

$r^2 = 0,958461083$, $r^2 (aj) = 0,916922166$, Erro padrão da curva = 0,066003552

Tabela 35 - Parâmetros da equação de regressão (equação 12) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T₁, ano fenológico 2004

| Parâmetro | Valor | Erro Padrão | Valor t | Intervalo de Confiança (95%) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|
| a | 3,501126742 | 0,385188389 | 9,089388059 | 2,430363454 4,57189003 |
| b | -10,0830913 | 1,652359959 | -6,10223652 | -14,6763927 -5,48978984 |
| c | 8,360952613 | 1,404851183 | 5,951486331 | 4,455686733 12,26621849 |

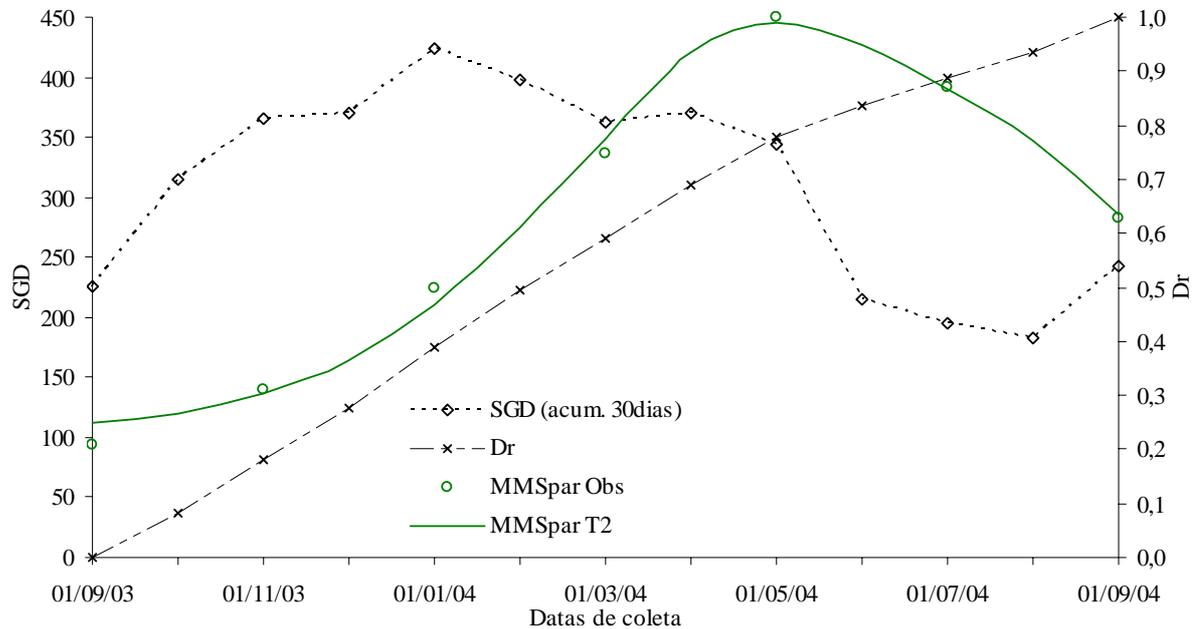


Figura 16 - Variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (dados observados e modelo – equação 4), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₂

Tabela 36 - Teste F referente à variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (equação 13) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₂, ano fenológico 2004

| Causa da variação | Soma de quadrados | Graus de liberdade | Quadrado médio | F |
|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------|
| Regressão | 0,49746449 | 2 | 0,24873224 | 284,104 |
| Erro | 0,00350199 | 4 | 0,000875498 | |
| Total | 0,50096648 | 6 | | |

$r^2 = 0,993009532$, r^2 (aj) = 0,986019063, Erro padrão da curva = 0,029588809.

Tabela 37 - Parâmetros da equação de regressão (equação 13) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T₂, ano fenológico 2004

| Parâmetro | Valor | Erro Padrão | Valor t | Intervalo de Confiança (95%) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|
| a | 4,025431118 | 0,206321118 | 19,51051425 | 3,45189078 4,598971457 |
| b | -11,2023514 | 0,817599273 | -13,7015183 | -13,4751491 -8,92955374 |
| c | 8,751745378 | 0,66379777 | 13,1843549 | 6,906491722 10,59699903 |

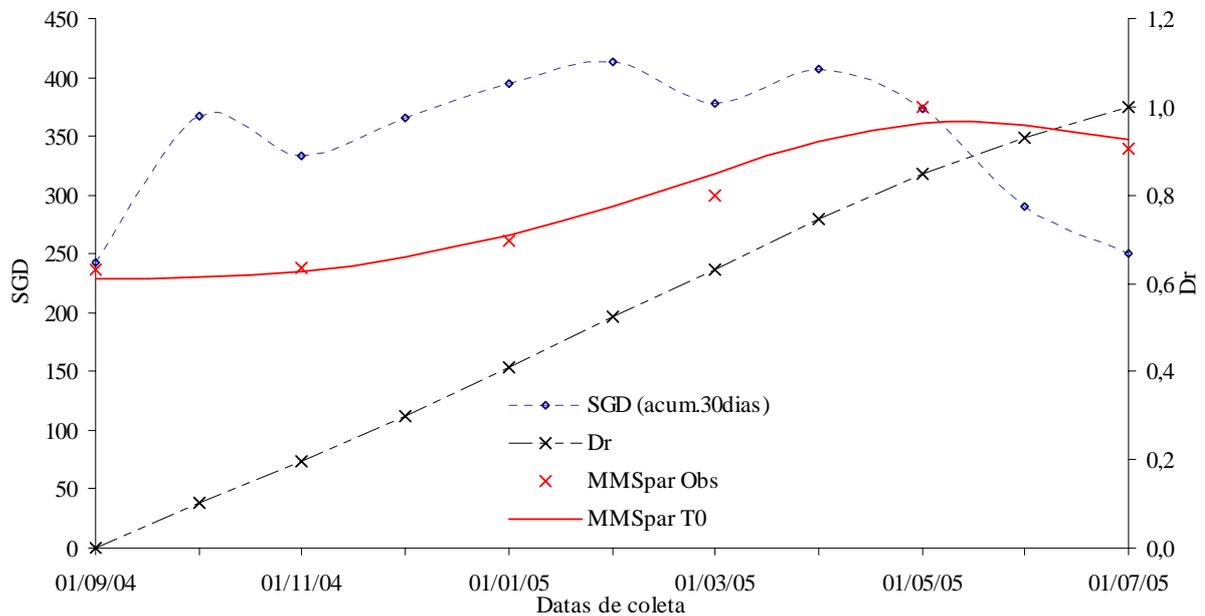


Figura 17 - Variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (dados observados e modelo – equação 8), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente à testemunha T₀, ano fenológico 2005

Tabela 38 - Teste F referente à variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (equação 13) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente à testemunha T₀, ano fenológico 2005

| Causa da variação | Soma de quadrados | Graus de liberdade | Quadrado médio | F |
|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------|
| Regressão | 0,10959006 | 2 | 0,054795032 | 33,6459 |
| Erro | 0,004885736 | 3 | 0,001628579 | |
| Total | 0,1144758 | 5 | | |

$r^2 = 0,957320794$, $r^2(a_j) = 0,893301986$, Erro padrão da curva = 0,040355653.

Tabela 39 - Parâmetros da equação de regressão (equação 13) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente à testemunha T₀, ano fenológico 2005

| Parâmetro | Valor | Erro Padrão | Valor t | Intervalo de Confiança (95%) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|
| a | 1,643323297 | 0,066209688 | 24,81998257 | 1,434177622 - 1,852468972 |
| b | -4,9834724 | 1,019405528 | -4,88860641 | -8,20360928 - -1,76333552 |
| c | 4,422227483 | 0,995935887 | 4,440273255 | 1,276227396 - 7,56822757 |

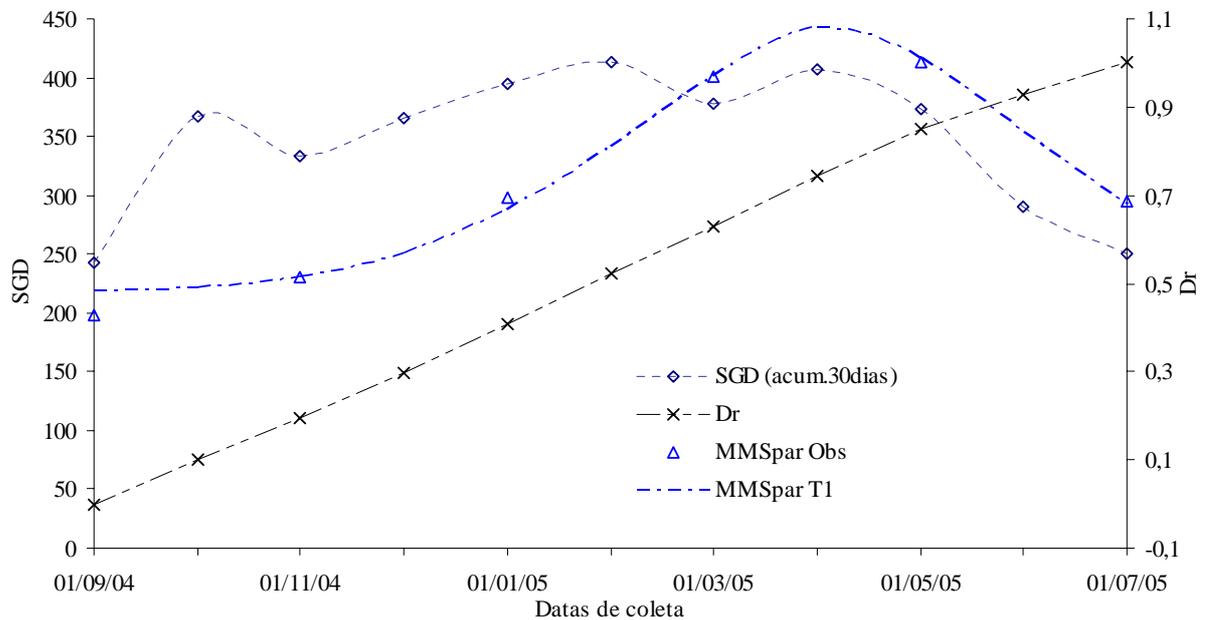


Figura 18 - Variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (dados observados e modelo – equação 13), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₁, ano fenológico 2005

Tabela 40 - Teste F referente à variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (equação 13) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₁, ano fenológico 2005

| Causa da variação | Soma de quadrados | Graus de liberdade | Quadrado médio | F |
|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|--------|
| Regressão | 0,26537027 | 2 | 0,13268514 | 102,97 |
| Erro | 0,003865735 | 3 | 0,001288578 | |
| Total | 0,26923601 | 5 | | |

$r^2 = 0,985641837$, $r^2 (aj) = 0,964104592$, Erro padrão da curva = 0,035896771.

Tabela 41 - Parâmetros da equação de regressão (equação 13) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T₁, ano fenológico 2005

| Parâmetro | Valor | Erro Padrão | Valor t | Intervalo de Confiança (95%) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|
| a | 2,075274064 | 0,088639232 | 23,41259084 | 1,795277094 - 2,355271034 |
| b | -13,7697926 | 1,24967695 | -11,0186818 | -17,7173196 - -9,82226563 |
| c | 13,17295174 | 1,215639299 | 10,83623387 | 9,332944178 - 17,01295931 |

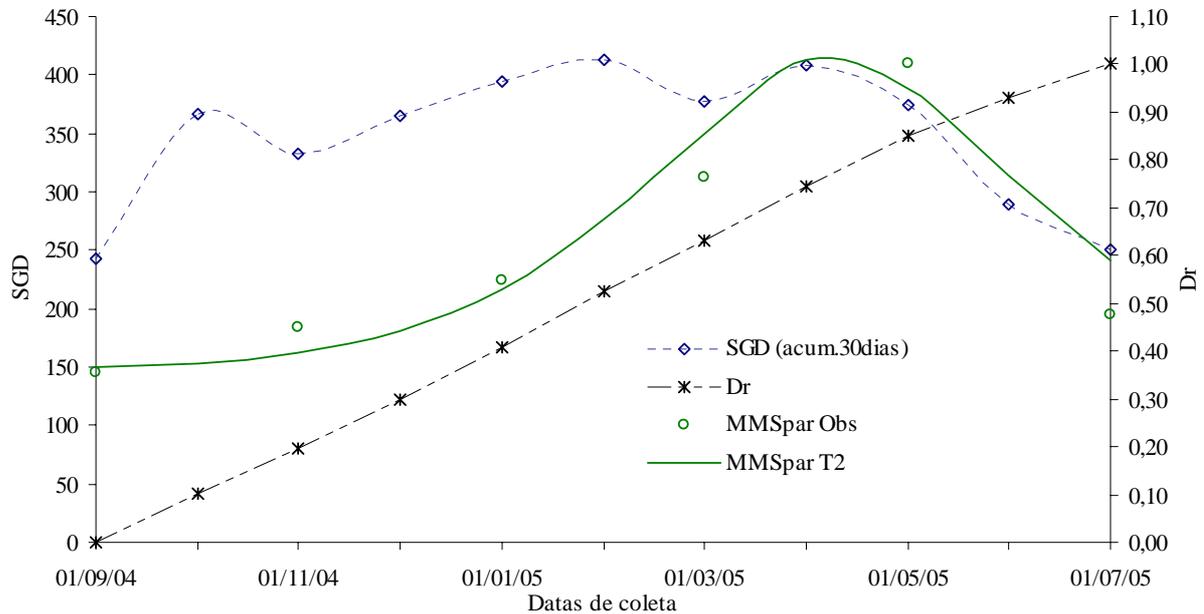


Figura 19 - Variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (dados observados e modelo – equação 13), da soma de graus-dia (SGD, °C.dia) e do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₂, ano fenológico 2005

Tabela 42 - Teste F referente à variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea (equação 13) em função do desenvolvimento relativo da cultura de café (Dr) referente ao tratamento T₂, ano fenológico 2005

| Causa da variação | Soma de quadrados | Graus de liberdade | Quadrado médio | F |
|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|---------|
| Regressão | 0,26175078 | 2 | 0,13087539 | 14,4985 |
| Erro | 0,027080381 | 3 | 0,009026794 | |
| Total | 0,28883116 | 5 | | |

$r^2 = 0,906241485$, $r^2(a_j) = 0,765603713$, Erro padrão da curva = 0,095009439.

Tabela 43 - Parâmetros da equação de regressão (equação 13) da variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea, erro padrão da média, valor de t e intervalo de confiança (95%), referente ao tratamento T₂, ano fenológico 2005

| Parâmetro | Valor | Erro Padrão | Valor t | Intervalo de Confiança (95%) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|
| a | 2,719348178 | 0,345484235 | 7,871120883 | 1,628019461 - 3,810676895 |
| b | -19,901532 | 5,309776129 | -3,74809248 | -36,6742544 - -3,12880957 |
| c | 18,87674923 | 5,27643386 | 3,577558202 | 2,209349658 - 35,5441488 |

As Figuras 14, 15, 16, 17, 18 e 19 se referem à variação temporal da produção de fitomassa seca da parte aérea dos três tratamentos, para cada ano fenológico.

No primeiro ano fenológico, foi utilizado o modelo descrito pela equação 12 em função do desenvolvimento relativo da cultura; e no segundo ano fenológico, o modelo que descreve a variação da matéria seca da parte aérea, também em função do desenvolvimento relativo da cultura, é dado pela equação 13.

Nas Tabelas 32, 33, 34, 35, 36 e 37, estão apresentados os testes estatísticos (teste F) e os parâmetros da equação 12, o erro padrão da média, o valor t e o intervalo de confiança, que validam o modelo descritor para os três tratamentos, referente ao ano agrícola 2004.

Nas Tabelas 38, 39, 40, 41, 42 e 43, estão apresentados os testes estatísticos (teste F) e os parâmetros da equação 13, o erro padrão da média, o valor t e o intervalo de confiança, que validam o modelo descritor para os três tratamentos, referente ao ano agrícola 2005.

Para os dois anos fenológicos (um ciclo fenológico), os modelos descrevem a variação da produção de massa de matéria seca em função do desenvolvimento relativo da cultura, que por sua vez está relacionado com o acúmulo de temperatura ao longo do ano. Nas diferentes situações, o que pode ser observado é que a máxima produção de matéria seca do cafeeiro coincide sempre com o período que ocorre a diminuição da somatória térmica. Portanto, quando o acúmulo de matéria seca é decrescente, a soma calórica também é.

4.4 Considerações finais

O presente estudo é referente a um cafezal ainda em processo de formação, que em maio de 2006 completaria cinco anos desde o transplante. Porém, cabe salientar que o experimento contemplou dois anos fenológicos, de baixa e de alta produtividade, o que possibilitou a caracterização para ambos os casos. O ideal é dar continuidade à caracterização para verificar se os modelos propostos podem continuar sendo utilizados, havendo apenas as mudanças das estimativas dos parâmetros.

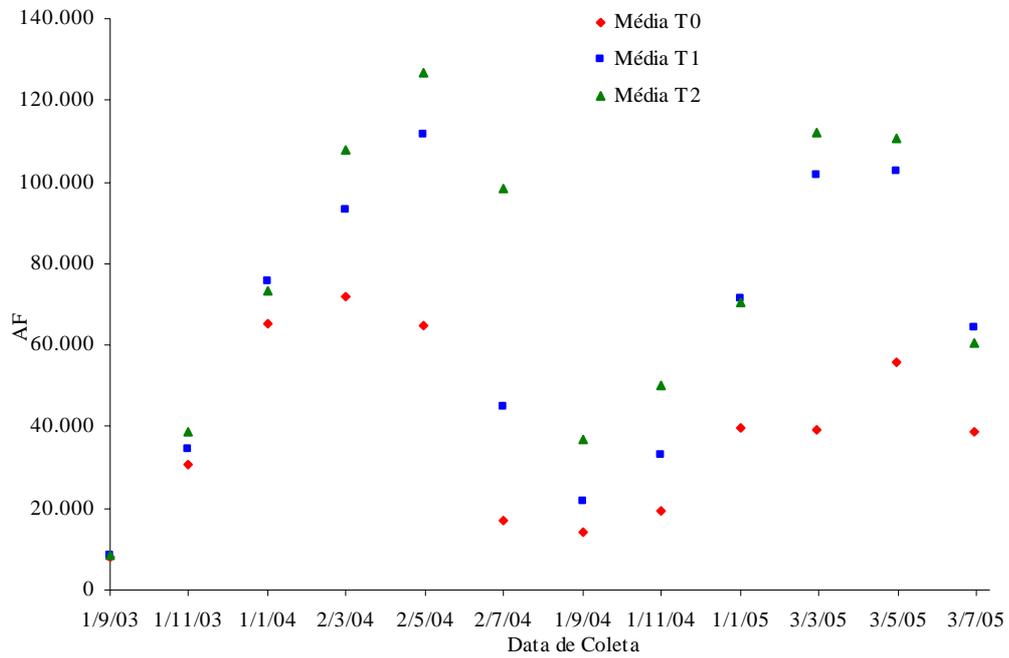


Figura 20 - Variação temporal da área foliar total (AF, $\text{cm}^2.\text{planta}^{-1}$) em função de diferentes doses de nitrogênio (Ano 1/2: T₀: 0/0; T₁: 140/175 e T₂: 280/350 $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$)

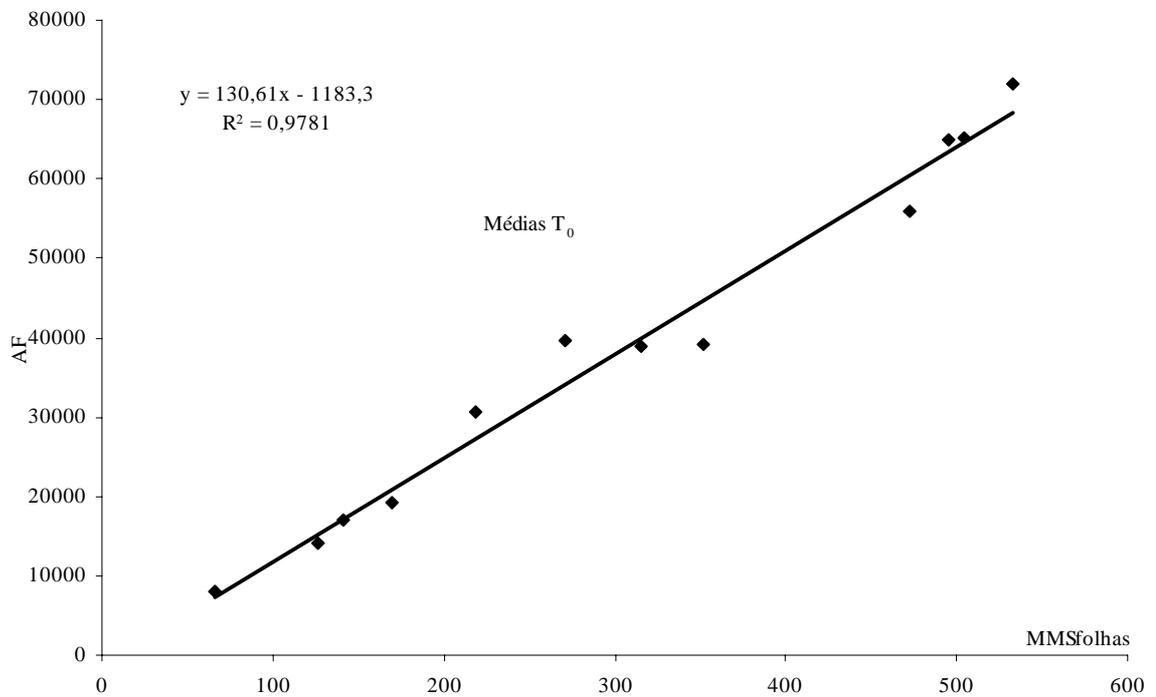


Figura 21 - Relação entre área foliar total (AF, $\text{cm}^2.\text{planta}^{-1}$) e massa de matéria seca de folhas ($\text{MMS}_{\text{folhas}}$, $\text{g}.\text{planta}^{-1}$) referente ao tratamento T₀ (0 $\text{kg}.\text{ha}^{-1}$ de nitrogênio)

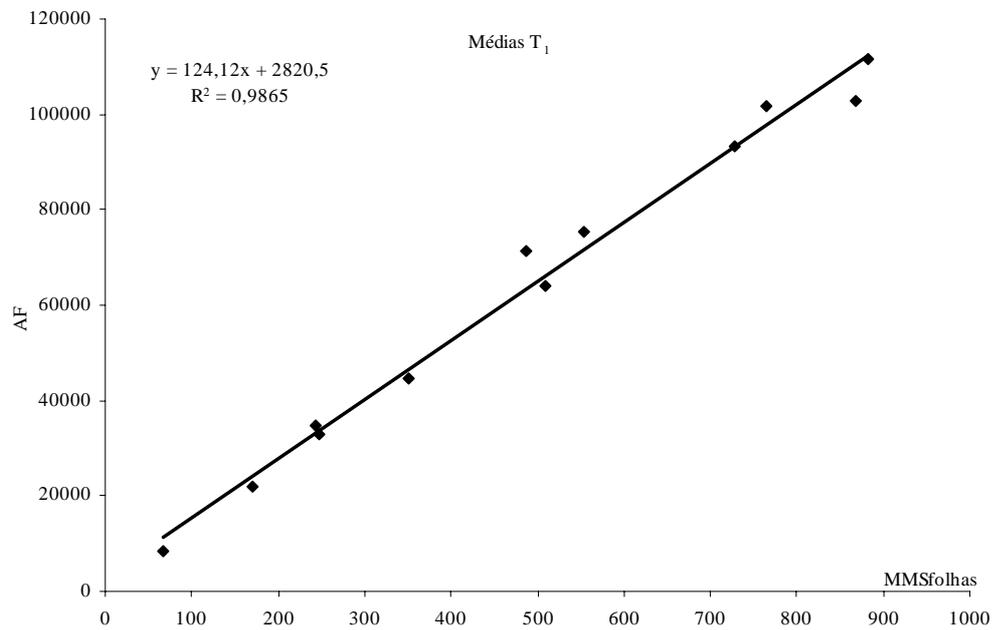


Figura 22 - Relação entre área foliar total (AF, cm².planta⁻¹) e massa de matéria seca de folhas (MMS_{folha}, g.planta⁻¹) referente ao tratamento T₁ (Ano 1/2: 140/175 kg.ha⁻¹ de nitrogênio)

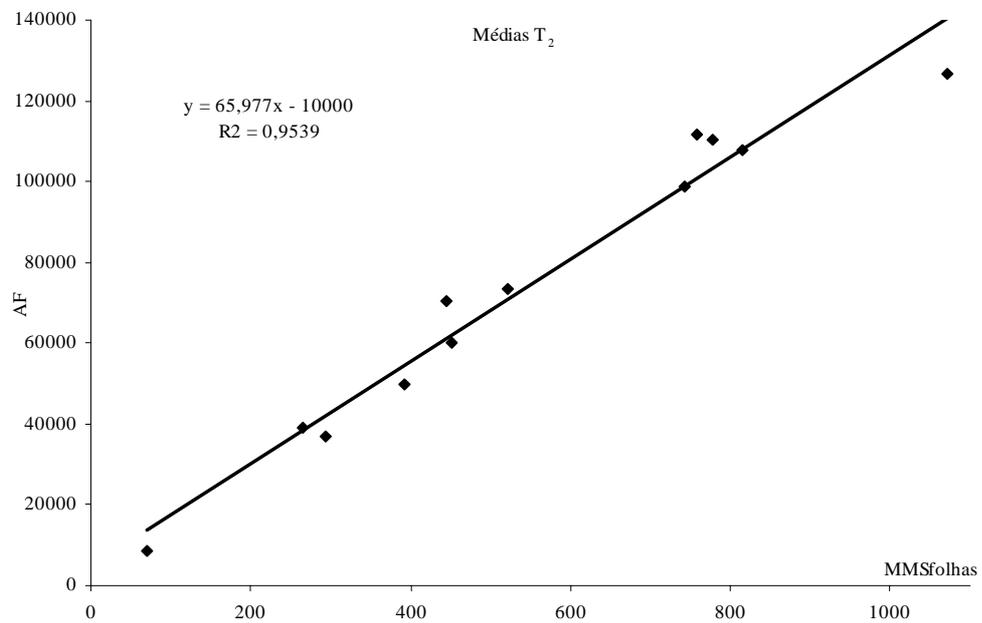


Figura 23 - Relação entre área foliar total (AF, cm².planta⁻¹) e massa de matéria seca de folhas (MMS_{folha}, g.planta⁻¹) referente ao tratamento T₂ (Ano 1/2: 280/350 kg.ha⁻¹ de nitrogênio)

No primeiro ano, com alta adubação nitrogenada, foi observada uma maior produção de fitomassa seca de folhas e área foliar total (Figura 20) no tratamento T_2 . Em contraste, quando se utilizou metade da dose (tratamento T_1) de nitrogênio, observou-se menor produção de fitomassa seca de folha e área foliar total (Figura 20). Provavelmente, as plantas de café (Tratamento T_1) apresentarão alguma resposta de produção no ano agrícola 2005/2006 (ano de baixa), em contrapartida ao esgotamento daquelas plantas que receberam maior dose do nutriente (tratamento T_2), em função da alta produtividade no ano de alta (2004/2005).

Sob alta, média e baixa utilização de nitrogênio, observou-se uma relação linear entre massa de matéria seca de folha e área foliar total (Figuras 21, 22 e 23). A metodologia para a determinação da massa de matéria seca de raiz é bastante complicada e onerosa. Os resultados obtidos no presente trabalho são bem próximos do esperado e encontrado na literatura. Em função do número grande de amostras coletadas, os mesmos podem se tornar não confiáveis, se levarmos em conta o tempo entre a coleta e o término da lavagem da última amostra. Vale salientar que a obtenção dos dados de raízes de todas as plantas coletadas no experimento, complementarmente de diversas maneiras, algumas respostas em relação ao crescimento do cafeeiro por ocasião do período mais seco e frio do ano, bem como ao re-direcionamento do fluxo de fotoassimilados para as raízes, já que essa ainda não é uma resposta encontrada em diversos trabalhos realizados com raízes de cafeeiros adultos.

O número de plantas coletadas por parcela, a cada amostragem, pode ser sempre minimizado quando a área experimental é a mais homogênea possível. Nada impede que as plantas a serem coletadas não sejam idênticas àquela planta intacta previamente demarcada (BENINCASA, 2003). É necessário que o procedimento de escolha obedeça sempre um limite de medidas (altura de planta - A_p , diâmetro de copa - D_{copa} e volume de copa - V_{copa} , por exemplo), o mais próximo possível daquela planta que foi escolhida como parâmetro anteriormente. É sempre interessante ter um maior número de plantas, mas por se tratar de um experimento com plantas de um cafezal em formação, com plantas próximas à idade de produção (plantas adultas), não justificaria destruímos mais do que uma planta por parcela a cada amostragem. Nesse trabalho, seria mais interessante diminuirmos o número de dias entre as coletas, aumentando assim o número de plantas coletadas durante o ciclo fenológico. Mesmo assim, não estaríamos minimizando o desfalque de plantas dentro da área experimental.

Em relação ao aspecto produtividade, mesmo que o cafezal ou área experimental seja o mais homogênea possível, é sempre mais preciso para o cálculo final da produção por área ou por planta, termos um número maior de plantas por parcela. A variabilidade genética da espécie revela que a produtividade é sempre variável de uma planta para outra, principalmente se levarmos em conta aspectos relacionados à restrição nutricional das plantas.

5 CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos, pode-se concluir que: (i) a adubação nitrogenada propicia, no ano fenológico de baixa produtividade, maior produção e retenção de folhas àquelas plantas que receberam maior quantidade de nitrogênio, resultando assim, em maior emissão, pegamento de flores e produtividade no próximo ano; (ii) as plantas que receberam menor quantidade de nitrogênio, no primeiro ano fenológico de baixa produtividade, apresentam maior potencial de produção de matéria seca total somente no segundo ano fenológico, o que resulta em maior produção de ramos vegetativos ativos; (iii) o aumento da produção de massa de matéria seca total está condicionado a um incremento da produção de massa de matéria seca de folhas do cafeeiro; e (iv) para a cultura de café em formação, a caracterização da variação temporal do acúmulo de massa de matéria seca deve contemplar modelos diferentes para os anos fenológicos de alta e baixa produtividade.

REFERÊNCIAS

- AKUNDA, E.M.W.O.; IMBAMBA, S.K.O.; KUMAR, D. High density plantings of coffee. I. Microclimatic and related changes. **East African Agricultural and Forestry Journal**, Nairobi, v.45, p.130–132, 1979.
- AMARAL, J.A.T.; RENA, A.B.; BARROS, R.S.; ALVES, J.D. Periodicidade de crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e suas relações com fontes de nitrogênio, fotossíntese e redutase do nitrato. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 14.; CONGRESSO LATINO AMERICANO DE TECNOLOGIA CAFEEIRA, 1., 1987. Campinas. **Resumos...** Rio de Janeiro: Ministério da Indústria e Comércio/IBC, 1987. p.118-120.
- ANDRÉ, M. Observations sur L'orthotropisme et le plagiotropisme des rameaux chez *Coffea arabica* L. **Café Cacao Thé**, Paris, v. 27, n.2, p.125-128, avr./jui. 1973.
- BEEVERS, L.; HAGEMAN, R.H. Nitrate reduction in higher plants. **Plant Physiology**, Berlin, v.20, p.495-522, 1969.
- BENINCASA, M.P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: Fundação de Estudos e Pesquisa em Ciências Agrárias (Funep). 2003. 41p.
- BOARETTO, A.E.; SHIAVINATTO-NETO; P., MURAOKA; T., OLIVEIRA; M.W., TRIVELIN, P.C.O. Fertilização foliar de nitrogênio para laranja em estágio de formação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, n.3, p.621-626, 1999a.
- BOARETTO, A.E.; SHIAVINATTO-NETO, P.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P.C.O.; BISSANI, C.A. Eficiência da aplicação de ¹⁵N-uréia no solo e nas folhas de laranjeiras jovens. **Laranja**, Cordeirópolis, v.20, n.2, p.477-498, 1999b.
- BUSTAMANTE, C.; OCHOA, M.; RODRIGUEZ, M.I. Balance of three nitrogen ¹⁵N fertilizers in a Cuban Oxisol cultivated with *Coffea arabica* L. **Tropicultura**, Bruxelles, v.15, n.4, p.169-172, 1997.
- CAMARGO, A.P.; FRANCO, C.F. Clima e fenologia do cafeeiro. In: **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. 5.ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, Ministério da Indústria e Comércio, 1985. p.19-50.
- CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro (*Coffea arabica*) nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.1, p.65-68, 2001.

CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I. Influência do florescimento e desenvolvimento dos frutos na atividade da redutase de nitrato em folhas de plantas de café (*Coffea arabica* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 11., 1984, Londrina. **Resumos...** Rio de Janeiro: Ministério da Indústria e Comércio/IBC, 1984. p.297-299.

CATANI, R.A; MORAES, F.R.P. A composição química do cafeeiro. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.1, p.45-57, 1958.

CHAVES, J.C.D. **Concentração de nutrientes nos frutos e folhas e exportação de nutrientes pela colheita durante um ciclo produtivo do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuai)**. 1982. 131p. Dissertação (Mestrado, Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1982.

FAZUOLI, L.C.; MEDINA FILHO, H.P.; GUERREIRO FILHO, O.; GONÇALVES, W.; SILVAROLLA, M.B.; GALLO, P.B. **Cultivares de café IAC apropriadas para plantio adensado**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2000. 5p.

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

HARDARSON, G. **Use of nuclear techniques in studies of soil-plant relationships**. Vienna: IAEA, 1990. 223p. (IAEA – Training Course Series, 2).

JARAMILLO, R.; VALENCIA, G. Los elementos climáticos y el desarrollo de *Coffea arabica* L. en Chinchiná, **Cenicafé**. Chinchiná, v. 3, n. 3, p.80-104. jul/set. 1980.

KÜPPER, A. Consumo mensal de nitrogênio pelo cafeeiro: quantidade época e modo de adubação nitrogenada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 4., 1976. Caxambu. **Resumos...** Caxambu: IBC/GERCA, 1976. p.215-217.

LAZZARINI, W.; MORAES, F. R. P. de. Ensaio qualitativo, quantitativo, e de fracionamento de nitrogênio. In: LAZZARINI, W.; MORAES, F.R.P. de.; MORAES, M.V.; TOLEDO, S.V; **Experimentação cafeeira 1929-1963**. Campinas: Instituto Agrônomo, p.178-183, 1967.

LEGAZ, F. ;PRIMO MILLO, E. **Influence of flowering, summer and autumn flushes on the absorption and distribution of nitrogen compounds in Citrus**. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS. 5., 1984. **Anais...** São Paulo, v.1, 1984. p.224-233.

LEGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E.; PRIMO-YUFERA, E.; GIL, C.; RUBIO, J.L. Nitrogen fertilization in citrus: I. Absorption and distribution of nitrogen in calamondin trees (*Citrus mitis* B.L.), during flowering, fruit set and initial fruit development periods. **Plant and Soil**, Valencia, v. 66, n. 3, p.339–351, 1982.

MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro – passado, presente e perspectivas. In: MALAVOLTA, E.; YAMADA, E.; GUIDOLIN, J.A. (Coord.) **Nutrição e adubação do cafeeiro**. 3.ed. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1983. cap.9, p.138-178.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, E. (Ed.) **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1986. p.165-274.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**: colheitas econômicas e máximas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210p.

MARTINS, M. Doses e parcelamento de adubação nitrogenada e potássica na formação do cafeeiro em solos de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 9., 1981. São Lourenço. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC-GERCA, 1981. p.378-381.

MATTIELLO, J.B.; FIGUEIREDO, J.P.; SANTINATO, R.; BARROS, U.V. Parcelamento da adubação NPK pós-colheita. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 10., 1983. Poços de Caldas. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1983. p.23-24.

MOHR, H.; SCHOPFER, P. **Plant physiology**. Berlin: Springer, 1995. 629p.

MORAES, F.R.P. de; CATANI, R.A. Absorção de elementos minerais pelo fruto do cafeeiro durante sua formação. **Bragantia**. Campinas. v.23, n.26, p.331-336, 1964.

MORAES, F.R.P. de; REIS, A.J.; CERVELLINI, G.S. Doses e fracionamento do nitrogênio na adubação do cafeeiro. I. Latossolo Roxo de Ribeirão Preto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS. 6. 1978. Ribeirão Preto. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1978. p.76-77.

MURTHY, S.V.K.; IYENGAR, B.R.V. Efficiency of N absorption, rate of N uptake and utilization in Citrus and Poncirus rootstocks as influenced by their root morphology. **Journal of Nuclear Agriculture and Biology**, New Delhi, v.21, n.4, p.303-307, 1992.

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

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 11. ed. Piracicaba: Nobel, 1985. 466p.

PIRINGER, A.A.; BORTHWICK, H.A. Photoperiodic responses of coffee. **Turrialba**, San Jose, v. 5, n. 3, p.72-75, 1995.

- RAIJ, B.VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC; Fundação IAC, 1996. 285p.
- REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. Piracicaba: Esalq/Usf – Departamento de Ciências Exatas, 1986. 513p.
- RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade do cafeeiro. Piracicaba: POTAFÓS, 1986. p. 13-85.
- RENA, A.B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 119-147.
- RENA, A.B.; NACIF, A.P.; GONTIJO, P.T.G.; PEREIRA, A.A. Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. In: CARAMORI, P.H; ANDROCIOLI FILHO, A.; LIBERAL, E. G.; CHAVES, J.C.D.; CARNEIRO, R.G. (Ed.). SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1996. Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996. p.72-85.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. (Ed.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5. aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A.L.T.; FERNANDES, D.R. Manejo do cafeeiro irrigado. In: **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Arbore Agrícola, 1996. cap.7. 146p.
- SILVA, A.L. **Variabilidade dos componentes do balanço hídrico: um estudo de caso em uma cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no Brasil**. 2005. 72p. Tese (Doutorado. Área de concentração: Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2005.
- SILVA, O.A.; SANTINATO, R.; FIGUEIREDO, J. P.; BARROS, U. V. Parcelamento fracionado do nitrogênio na adubação do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11., 1984. Londrina. **Resumos...** Rio de Janeiro: Ministério da Indústria e comércio. IBC, 1984. p.287-289.
- SNOECK, D.; DOMENACH, A.M. Demonstrating nitrogen transfer from legumes to coffee using isotope techniques. In: COLLOQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL SUR LE CAFÉ, 18., 1999. Helsinki. **Anais...** Paris: Association Scientifique Internationale du Café (ASIC), Paris, 1999. 2–8 out, Helsinki, Finland p.430-437.

SNOECK, D.O. ; GANRY, F.; JADIN, P.; BEUNARD, P.; DOMENACH, A.M.; MPEPEREKI, S.M.; MAKONESE, F.T. Study of nitrogen fixing capacities of leguminous plants in coffee plantations in Burundi and their transfer possibilities. In: Harnessing biological nitrogen fixation in African agriculture: challenges and opportunities. INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE AFRICAN ASSOCIATION FOR BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION, 6., 1994. Harare, Zimbabwe, 12 – 17 September. **Selected papers...** Harare, Zimbabwe: University of Zimbabwe, 1998. p.232–239.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Plant physiology**. California: The Benjamin/Cummings, 1991. 559p.

THOMAZIELLO, R.A.; FAZUOLI, L.C.; PEZZOPANE, J.R.M.; FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C. **Café Arabica: cultura e técnicas de produção**. Campinas: IAC, 2000. 82p. (IAC. Boletim técnico, 187).

VIANA, A.S. Estudo de doses e parcelamentos de N e K na formação do cafeeiro em Led e Ter. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS. 8., 1980. Campos do Jordão. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1980. p.205-211.

VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; LACERDA, M.P. Doses e parcelamento de adubação nitrogenada e potássica para formação e produção do cafeeiro em solos do cerrado II. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 14.; CONGRESSO LATINOAMERICANO DE TECNOLOGIA CAFEEIRA, 1., 1987. Campinas. **Resumos...** Rio de Janeiro: Ministério da Indústria e Comércio; IBC, 1987. p.249-252.

VIANA, A.S.; MIGUEL, A. E.; CORRÊA, J. B.; LACERDA, M. P.; FIORAVANTE, N. Doses e parcelamento de adubação nitrogenada e potássica para formação e produção do cafeeiro em solos do cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12., 1985. Caxambu. **Resumos....** Rio de Janeiro: Ministério da Indústria e Comércio; IBC, 1985. p.146-148.

VIDAL TORRADO, P.; SPAROVEK, G. **Mapa pedológico detalhado do Campus “Luiz de Queiroz”**. Piracicaba: Esalq, 1993. (escala 1:10.000).

VILLA NOVA, N.A. **Dados meteorológicos do município de Piracicaba**. Piracicaba: Esalq, Departamento de Física e Meteorologia, 1989. 1v.

VILLA NOVA, N.A.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; PEREIRA, A.R.; OMETTO, J.C. **Estimativas de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima**. São Paulo: USP, Instituto de Geografia, 1972. 8p. (Caderno da Ciência da Terra, 30).

YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p.119-147.

ANEXOS

ANEXO A – Elementos do clima

Tabela 44 - Valores médios mensais de temperatura do ar máxima (T_{máx}, °C), mínima (T_{mín}, °C) e média (T_{med}, °C), umidade relativa do ar máxima (UR_{máx}, %), mínima (UR_{mín}, %) e média (UR_{méd}, %), velocidade (v, m.s⁻¹) e direção (D, °) do vento, precipitação pluvial (P, mm) e número de dias de chuva superior a 10 mm (DC), radiação solar global média (Q_g, MJ.m⁻².dia⁻¹), radiação líquida total diária média (R_n, MJ.m⁻².dia⁻¹), fluxo total diário de calor no solo (G, MJ.m⁻².dia⁻¹), pressão de saturação de vapor (e_s, kPa) e estimativa de evapotranspiração potencial medida através de dois métodos: Tanque Classe A (ET_{OT}, mm) e Penmam-Monteith – FAO (ET_{OF}, mm), durante o período experimental

(Continua)

| Período | T _{máx} | T _{mín} | T _{média} | UR _{máx} | UR _{mín} | UR _{méd} | v | D | P | DC | Q _g | R _n | G | e _s | ET _{OT} | ET _{OF} |
|---------|------------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|--------|-------|----|----------------|----------------|-------|----------------|------------------|------------------|
| jul/03 | 26,3 | 10,6 | 18,4 | 91,9 | 33,5 | 62,7 | 1,14 | 118,78 | 18,7 | 1 | 12,06 | 6,21 | 0,07 | 2,38 | 81,31 | 86,52 |
| Ago/03 | 25,6 | 10,5 | 18,0 | 90,9 | 34,6 | 62,8 | 1,05 | 158,42 | 20,8 | 0 | 13,61 | 7,05 | -0,13 | 2,32 | 80,78 | 88,73 |
| Set/03 | 28,7 | 13,8 | 21,3 | 88,4 | 32,8 | 60,6 | 1,27 | 162,52 | 6,4 | 0 | 16,40 | 8,63 | -0,08 | 2,82 | 105,74 | 102,44 |
| out/03 | 29,3 | 16,2 | 22,8 | 88,7 | 37,5 | 63,1 | 1,28 | 166,94 | 114,9 | 4 | 19,55 | 10,23 | 0,53 | 3,04 | 71,43 | 125,70 |
| nov/03 | 29,2 | 17,0 | 23,6 | 90,7 | 44,5 | 67,6 | 1,37 | 153,21 | 145,3 | 5 | 20,36 | 10,70 | 0,72 | 4,55 | 84,71 | 109,14 |
| dez/03 | 30,2 | 19,3 | 24,7 | 93,0 | 49,7 | 71,4 | 1,35 | 143,39 | 150,5 | 1 | 21,56 | 11,58 | 0,85 | 5,58 | 119,34 | 131,57 |
| jan/04 | 28,6 | 18,8 | 23,7 | 94,0 | 52,5 | 72,9 | 1,26 | 131,03 | 258,1 | 2 | 18,49 | 9,82 | 0,53 | 3,08 | 91,21 | 111,06 |
| fev/04 | 28,8 | 18,2 | 23,5 | 94,1 | 51,5 | 72,8 | 1,23 | 136,54 | 212,8 | 2 | 20,36 | 10,90 | 0,64 | 3,05 | 108,65 | 112,65 |
| mar/04 | 28,8 | 17,2 | 23,0 | 95,4 | 46,4 | 70,9 | 1,05 | 134,78 | 89,8 | 3 | 20,17 | 10,99 | 0,76 | 2,99 | 94,71 | 119,91 |
| abr/04 | 28,2 | 16,9 | 22,6 | 96,5 | 50,2 | 73,3 | 1,01 | 132,10 | 104,6 | 3 | 15,77 | 7,72 | 0,38 | 2,90 | 110,03 | 85,91 |
| mai/04 | 23,5 | 12,4 | 18,0 | 97,6 | 56,7 | 77,1 | 0,83 | 149,96 | 120,7 | 2 | 11,16 | 5,72 | 0,13 | 2,21 | 75,63 | 60,63 |
| jun/04 | 24,1 | 10,8 | 17,4 | 97,4 | 48,6 | 73,0 | 0,92 | 114,71 | 51,0 | 2 | 10,10 | 5,51 | 0,06 | 2,18 | 59,11 | 62,83 |
| jul/04 | 23,2 | 10,8 | 17,0 | 97,1 | 48,7 | 73,0 | 1,32 | 113,42 | 88,5 | 2 | 10,44 | 5,95 | 0,10 | 2,11 | 66,78 | 71,13 |

Tabela 44 - Valores médios mensais de temperatura do ar máxima (T_{máx}, °C), mínima (T_{mín}, °C) e média (T_{med}, °C), umidade relativa do ar máxima (UR_{máx}, %), mínima (UR_{mín}, %) e média (UR_{méd}, %), velocidade (v, m.s⁻¹) e direção (D, °) do vento, precipitação pluvial (P, mm) e número de dias de chuva superior a 10 mm (DC), radiação solar global média (Q_g, MJ.m⁻².dia⁻¹), radiação líquida total diária média (R_n, MJ.m⁻².dia⁻¹), fluxo total diário de calor no solo (G, MJ.m⁻².dia⁻¹), pressão de saturação de vapor (e_s, kPa) e estimativa de evapotranspiração potencial medida através de dois métodos: Tanque Classe A (ET_{OT}, mm) e Penman-Monteith – FAO (ET_{OF}, mm), durante o período experimental

(Conclusão)

| Período | T _{máx} | T _{mín} | T _{média} | UR _{máx} | UR _{mín} | UR _{méd} | v | D | P | DC | Q _g | R _n | G | e _s | ET _{OT} | ET _{OF} |
|---------|------------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|--------|-------|----|----------------|----------------|------|----------------|------------------|------------------|
| ago/04 | 27,1 | 10,2 | 18,7 | 94,2 | 30,7 | 62,5 | 1,17 | 123,71 | 0,3 | 0 | 15,52 | 8,28 | 0,23 | 2,46 | 95,13 | 103,25 |
| set/04 | 31,7 | 15,1 | 23,4 | 88,4 | 25,0 | 56,7 | 1,31 | 137,41 | 7,8 | 0 | 18,40 | 9,66 | 0,44 | 3,24 | 131,03 | 128,94 |
| out/04 | 27,0 | 16,1 | 21,5 | 93,1 | 49,7 | 71,4 | 1,21 | 145,02 | 178,0 | 9 | 14,89 | 9,07 | 0,54 | 2,75 | 62,28 | 103,77 |
| nov/04 | 28,8 | 17,6 | 23,2 | 91,9 | 45,1 | 68,5 | 1,28 | 145,03 | 117,0 | 4 | 20,15 | 11,67 | 0,83 | 3,03 | 103,63 | 127,00 |
| dez/04 | 29,1 | 18,2 | 23,6 | 93,9 | 47,0 | 70,5 | 1,16 | 143,22 | 115,9 | 6 | 20,44 | 10,96 | 0,88 | 3,08 | 112,00 | 110,81 |
| jan/05 | 28,6 | 20,2 | 24,4 | 94,9 | 60,0 | 77,4 | 1,50 | 146,05 | 240,2 | 8 | 17,41 | 9,47 | 0,66 | 3,17 | 55,34 | 104,21 |
| fev/05 | 30,7 | 18,2 | 24,4 | 93,9 | 40,0 | 67,0 | 1,68 | 148,80 | 65,0 | 2 | 25,65 | 12,75 | 0,80 | 3,27 | 110,20 | 138,25 |
| mar/05 | 29,6 | 18,7 | 24,1 | 95,3 | 51,3 | 73,3 | 1,56 | 138,64 | 117,4 | 5 | 18,05 | 9,42 | 0,56 | 3,17 | 99,51 | 113,98 |
| abr/05 | 29,6 | 17,8 | 23,7 | 95,7 | 46,3 | 71,0 | 1,41 | 136,73 | 35,2 | 1 | 15,26 | 9,06 | 0,54 | 3,13 | 80,44 | 108,42 |
| mai/05 | 27,1 | 13,7 | 20,4 | 96,5 | 42,3 | 69,4 | 1,49 | 107,97 | 168,5 | 2 | 13,20 | 7,15 | 0,34 | 2,61 | 49,45 | 92,68 |
| jun/05 | 25,9 | 12,7 | 19,3 | 97,6 | 45,7 | 71,7 | 1,43 | 101,60 | 52,5 | 2 | 11,91 | 6,45 | 0,32 | 2,43 | 83,66 | 81,25 |
| jul/05 | 24,6 | 10,9 | 17,7 | 94,8 | 42,3 | 68,5 | 1,60 | 128,15 | 10,1 | 0 | 10,72 | 6,68 | 0,32 | 2,23 | 78,67 | 88,86 |

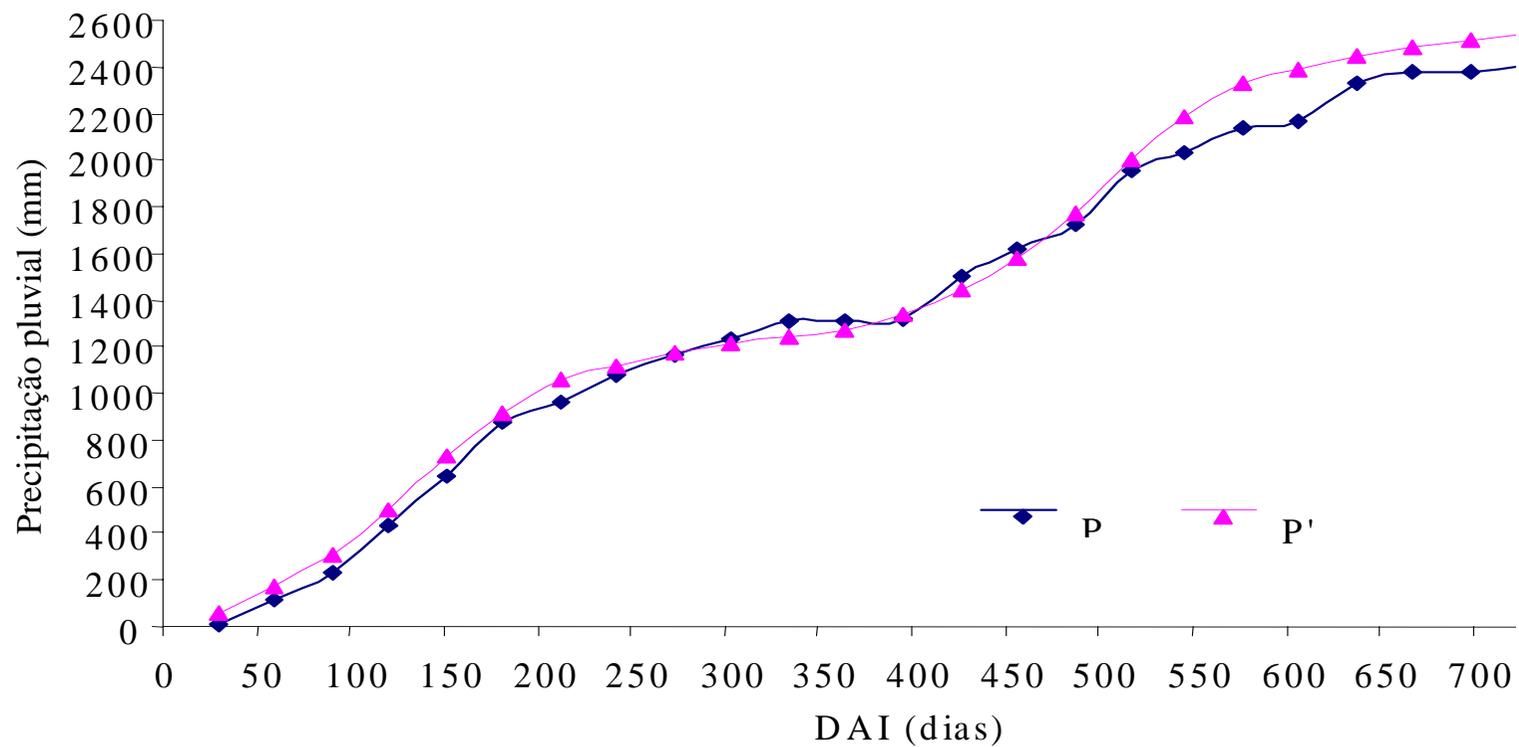


Figura 24 - Comparação entre os valores acumulados de precipitação pluviual durante o período do experimento (P) e durante o período de 1917 a 2004 (P'). Piracicaba, SP. DAI = dias após o início do experimento (Fonte: <http://www.ciagri.usp.br/~emdabreu/MEDIAS.TXT>).

Tabela 45 - Precipitação (P, mm), irrigação (I, mm), armazenamento inicial (Si, mm), variação do armazenamento de água no solo (ΔS , mm), escoamento superficial (RO, mm), drenagem (Q_{Li} , mm) e evapotranspiração real (ERi, mm) e a evapotranspiração da cultura (ETc, mm), para todos os períodos analisados (DAI = dias após o início)

(Continua)

| Nº Balanço | Período | DAI | P | I | Si | ΔS | RO | Q_{Li} | ERi | ETc |
|------------|---------------|---------|--------|------|-------|------------|------|----------|---------|---------|
| 1 | 01/09 a 15/09 | 0_14 | 4,1 | 34,2 | 245,2 | 12,2 | 0,0 | 0,0 | -26,1 | -47,3 |
| 2 | 15/09 a 29/09 | 14_28 | 5,8 | 0,0 | 257,4 | -6,1 | 0,0 | 0,0 | -11,9 | -57,7 |
| 3 | 29/09 a 13/10 | 28_42 | 77,8 | 0,0 | 251,3 | 26,6 | -0,2 | 0,0 | -50,9 | -55,6 |
| 4 | 13/10 a 27/10 | 42_56 | 17,9 | 0,0 | 277,9 | -6,9 | 0,0 | 0,0 | -24,8 | -67,5 |
| 5 | 27/10 a 10/11 | 56_70 | 25,3 | 0,0 | 271,0 | -7,8 | 0,0 | 0,0 | -33,1 | -49,0 |
| 6 | 10/11 a 24/11 | 70_84 | 75,1 | 0,0 | 263,3 | 12,3 | -0,4 | 0,0 | -62,3 | -62,3 |
| 7 | 24/11 a 08/12 | 84_98 | 89,7 | 0,0 | 275,6 | 17,5 | -0,2 | 0,0 | -72,0 | -72,0 |
| 8 | 08/12 a 22/12 | 98_112 | 49,3 | 0,0 | 293,1 | -8,2 | 0,0 | 0,0 | -57,5 | -57,5 |
| 9 | 22/12 a 05/01 | 112_126 | 85,6 | 0,0 | 284,9 | 17,0 | -0,5 | 0,0 | -68,1 | -68,1 |
| 10 | 05/01 a 19/01 | 126_140 | 50,6 | 0,0 | 301,9 | -1,7 | -0,1 | 0,0 | -52,2 | -52,2 |
| 11 | 19/01 a 02/02 | 140_154 | 167,7 | 0,0 | 300,2 | 69,8 | -0,6 | -56,8 | -40,5 | -40,5 |
| 12 | 02/02 a 16/02 | 154_168 | 69,8 | 0,0 | 369,9 | -26,0 | -0,3 | -31,5 | -64,0 | -64,0 |
| 13 | 16/02 a 01/03 | 168_182 | 152,9 | 0,0 | 344,0 | 21,1 | -1,2 | -82,3 | -48,3 | -48,3 |
| 14 | 01/03 a 15/03 | 182_196 | 73,1 | 0,0 | 365,1 | -16,6 | -0,4 | 0,0 | -89,3 | -89,3 |
| 15 | 15/03 a 29/03 | 196_210 | 14,0 | 0,0 | 348,5 | -48,4 | 0,0 | 0,0 | -62,4 | -62,4 |
| 16 | 29/03 a 12/04 | 210_224 | 65,2 | 0,0 | 300,1 | 0,7 | -0,3 | 0,0 | -64,2 | -64,2 |
| 17 | 12/04 a 26/04 | 224_238 | 52,3 | 0,0 | 300,8 | 0,5 | -0,1 | 0,0 | -51,7 | -51,7 |
| 18 | 26/04 a 10/05 | 238_252 | 23,2 | 0,0 | 301,3 | -6,4 | -0,1 | 0,0 | -29,6 | -29,6 |
| 19 | 10/05 a 24/05 | 252_266 | 25,5 | 0,0 | 294,9 | -0,1 | 0,0 | 0,0 | -25,6 | -25,6 |
| 20 | 24/05 a 07/06 | 266_280 | 101,5 | 0,0 | 294,8 | 53,8 | -0,8 | -22,7 | -24,2 | -24,2 |
| 21 | 07/06 a 21/06 | 280_294 | 7,2 | 0,0 | 348,7 | -12,4 | 0,0 | 0,0 | -19,6 | -19,6 |
| 22 | 21/06 a 05/07 | 294_308 | 1,9 | 0,0 | 336,2 | -14,7 | 0,0 | 0,0 | -16,5 | -16,5 |
| 23 | 05/07 a 19/07 | 308_322 | 32,7 | 0,0 | 321,6 | 20,6 | -0,1 | 0,0 | -12,0 | -12,0 |
| 24 | 19/07 a 02/08 | 322_336 | 44,6 | 0,0 | 342,2 | -12,9 | 0,0 | -20,7 | -36,8 | -36,8 |
| 25 | 02/08 a 16/08 | 336_350 | 0,0 | 0,0 | 329,3 | -11,4 | 0,0 | 0,0 | -11,4 | -46,5 |
| 26 | 16/08 a 30/08 | 350_364 | 0,0 | 37,5 | 317,8 | -8,9 | -0,4 | 0,0 | -46,1 | -48,1 |
| 1_26 | 01/09 a 30/08 | 0_364 | 1312,8 | 71,6 | - | 63,7 | -5,5 | -214,1 | -1101,2 | -1268,7 |

Tabela 45 - Precipitação (P, mm), irrigação (I, mm), armazenamento inicial (Si, mm), variação do armazenamento de água no solo (ΔS , mm), escoamento superficial (RO, mm), drenagem (Q_{Li} , mm) e evapotranspiração real (Eri, mm) e a evapotranspiração da cultura (Etc, mm), para todos os períodos analisados (DAI = dias após o início)

(Conclusão)

| Nº Balanço | Período | DAI | P | I | Si | ΔS | RO | Q_{Li} | ERi | ETc |
|------------|---------------|---------|--------|------|-------|------------|------|----------|--------|---------|
| 27 | 30/08 a 13/09 | 364_378 | 0,0 | 0,0 | 308,9 | -32,5 | 0,0 | 0,0 | -32,5 | -63,2 |
| 28 | 13/09 a 27/09 | 378_392 | 6,5 | 0,0 | 276,4 | -19,9 | 0,0 | 0,0 | -26,4 | -55,6 |
| 29 | 27/09 a 11/10 | 392_406 | 60,2 | 4,9 | 256,5 | 25,1 | 0,0 | 0,0 | -39,9 | -51,0 |
| 30 | 11/10 a 25/10 | 406_420 | 117,1 | 0,0 | 281,7 | 72,1 | -0,1 | -3,5 | -41,5 | -41,5 |
| 31 | 25/10 a 08/11 | 420_434 | 11,8 | 0,0 | 353,8 | -40,5 | 0,0 | 0,0 | -52,2 | -52,2 |
| 32 | 08/11 a 22/11 | 434_448 | 87,4 | 0,0 | 313,3 | 15,2 | 0,0 | 0,0 | -72,1 | -72,1 |
| 33 | 22/11 a 06/12 | 448_462 | 32,8 | 0,0 | 328,6 | -40,3 | 0,0 | 0,0 | -73,1 | -73,1 |
| 34 | 06/12 a 20/12 | 462_476 | 18,9 | 0,0 | 288,3 | -26,2 | 0,0 | 0,0 | -45,1 | -45,1 |
| 35 | 20/12 a 03/01 | 476_490 | 75,2 | 0,0 | 262,0 | 10,4 | 0,0 | 0,0 | -64,8 | -64,8 |
| 36 | 03/01 a 17/01 | 490_504 | 121,4 | 0,0 | 272,5 | 33,9 | -0,4 | -30,3 | -56,8 | -56,8 |
| 37 | 17/01 a 31/01 | 504_518 | 113,5 | 0,0 | 306,4 | 54,4 | -0,1 | -24,2 | -34,8 | -34,8 |
| 38 | 31/01 a 14/02 | 518_532 | 30,0 | 0,0 | 360,8 | -59,3 | 0,0 | 0,0 | -88,9 | -88,9 |
| 39 | 14/02 a 28/02 | 532_546 | 46,5 | 0,0 | 301,6 | -28,1 | -0,1 | 0,0 | -74,5 | -74,5 |
| 40 | 28/02 a 14/03 | 546_560 | 1,4 | 0,0 | 273,5 | -24,7 | 0,0 | 0,0 | -26,1 | -26,1 |
| 41 | 14/03 a 28/03 | 560_574 | 98,2 | 0,0 | 248,8 | 31,2 | -0,1 | -25,2 | -41,8 | -41,8 |
| 42 | 28/03 a 11/04 | 574_588 | 27,4 | 0,0 | 280,0 | -14,7 | 0,0 | 0,0 | -42,1 | -42,1 |
| 43 | 11/04 a 25/04 | 588_602 | 0,0 | 0,0 | 265,3 | -14,3 | 0,0 | 0,0 | -14,3 | -54,7 |
| 44 | 25/04 a 09/05 | 602_616 | 4,2 | 19,2 | 250,9 | 9,4 | 0,0 | 0,0 | -14,0 | -40,9 |
| 45 | 09/05 a 23/05 | 616_630 | 12,4 | 0,0 | 260,4 | -2,3 | 0,0 | 0,0 | -14,7 | -46,7 |
| 46 | 23/05 a 06/06 | 630_644 | 148,2 | 0 | 258,1 | 47,5 | 0,0 | -67,3 | -33,4 | -33,4 |
| 47 | 06/06 a 20/06 | 644_658 | 28,0 | 0 | 305,6 | -4,5 | 0,0 | 0,0 | -32,5 | -42,7 |
| 48 | 20/06 a 04/07 | 658_672 | 20,2 | 0 | 301,1 | 9,2 | 0,0 | 0,0 | -10,9 | -34,0 |
| 49 | 04/07 a 18/07 | 672_686 | 0 | 0 | 310,3 | -16,6 | 0,0 | 0,0 | -16,6 | -40,2 |
| 50 | 18/07 a 01/08 | 686_700 | 8,7 | 0 | 293,7 | -6,5 | 0,0 | 0,0 | -15,2 | -38,5 |
| 51 | 01/08 a 15/08 | 700_714 | 0 | 0 | 287,2 | -15,1 | 0,0 | 0,0 | -15,1 | 0,0 |
| 52 | 15/08 a 29/08 | 714_728 | 23,3 | 0 | 272,1 | | 0,0 | 0,0 | -18,6 | 0,0 |
| 27_52 | 30/08 a 29/08 | 364_728 | 1093,3 | 24,1 | - | -36,8 | -0,8 | -150,5 | -997,7 | -1214,6 |

Fonte: Silva (2005)

ANEXO B – Área experimental

Figura 25 - Vista geral do experimento (abril de 2004). Fazenda Areão. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo