

MATHEUS PIRES QUINTELA

**PARÂMETROS FITOMÉTRICOS E PRODUTIVOS DO CAFEIRO IRRIGADO E
SUBMETIDO A DOSES DE NITROGÊNIO NA REGIÃO DE GARANHUNS**

RECIFE

2009

MATHEUS PIRES QUINTELA

**PARÂMETROS FITOMÉTRICOS E PRODUTIVOS DO CAFEIEIRO IRRIGADO E
SUBMETIDO A DOSES DE NITROGÊNIO NA REGIÃO DE GARANHUNS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Manejo Integrado de Água e Solo

Orientador: Prof. Dr. TONNY JOSÉ ARAÚJO DA SILVA

Co-orientador: Prof. Dr. ENIO FARIAS DE FRANÇA E SILVA

RECIFE

2009

A Deus, presente em todas as jornadas, pela força e perseverança

Agradeço

À minha mãe Geiza Pires do Carmo e minha irmã Manuelle
Quintela Pires pelo amor, carinho e incentivo.

Aos meus avós Moisés Dias do Carmo e Milena Pires do
Carmo pela dedicação e exemplo de vida

Dedico

À minha amada Vanucy Santos Garcia e a minha
sogra Maria Nazaré dos Santos pelo apoio e carinho

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Tonny José Araújo da Silva, pela orientação, ensinamentos transmitidos, pela dedicação e, sobretudo, pela amizade.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco por intermédio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade oferecida.

À Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa de estudo

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela aprovação do projeto que viabilizou a execução da pesquisa.

Aos professores: Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro e ao Dr. Marcus Metri pela concessão de equipamentos necessários ao desenvolvimento da pesquisa; Dr. Enio Farias de França e Silva pelas dicas para o desenvolvimento da pesquisa; Dr. Roberto Carlos Orlando por viabilizar o acesso ao local do experimento; e Dr^a. Elvira Pedrosa pelas informações para o uso do software SAS.

Aos demais professores do Departamento de Tecnologia Rural, pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Dr. Egídio Bezerra Neto pela concessão do laboratório para as análises e principalmente pelo apoio e dedicação ao trabalho científico.

A Dr^a Edna Maria Bonfim da Silva pelos conhecimentos necessários ao andamento do trabalho.

Ao Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola Mário Monteiro Rolin pela dedicação ao programa e por viabilizar o desenvolvimento desse trabalho.

Ao Laboratório de Bioquímica Vegetal, principalmente ao funcionário Júlio César Tenório de Azevedo pela contribuição nas análises de tecido vegetal.

Ao Dr. Célio Cabral, proprietário da Fazenda São Luís pela concessão da área para a execução da pesquisa e ao funcionário Valdir pela disponibilidade em ajudar sempre que necessário.

A Felizarda e George pelo apoio em minha estada em Recife e principalmente, pela amizade.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE.

A todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO

PARÂMETROS FITOMÉTRICOS E PRODUTIVOS DO CAFEIEIRO IRRIGADO E SUBMETIDO A DOSES DE NITROGÊNIO NA REGIÃO DE GARANHUNS

Autor: Matheus Pires Quintela

Orientador: Prof. Dr. Tonny José Araújo da Silva

RESUMO

A cafeicultura praticada em Pernambuco, hoje, ocupa uma área de 8 mil hectares distribuídas entre a Mata Norte (500 ha) e 40 municípios do Agreste (7,5 mil ha). Dentre as principais cidades produtoras destacam-se Taquaritinga do Norte, Garanhuns, Bom Conselho, Belo Jardim, Brejão e Triunfo. Dessas áreas são produzidos um volume de café que atende apenas a 23% da demanda do Estado de Pernambuco. Isso se deve, possivelmente, à falta de ações no passado em que a cafeicultura nordestina não contou com incentivos a plantios tecnicamente conduzidos ou com trabalhos experimentais específicos. Apesar disso, nota-se a importância da cafeicultura para o Estado de Pernambuco, que chega a movimentar anualmente um montante de R\$ 8,5 milhões, tornando-se, portanto, o segundo maior produtor de café do Nordeste, perdendo apenas para a Bahia. O desenvolvimento e a produtividade da cultura do cafeeiro são afetados por diversos fatores, dentre eles, a água, que escassa ou em excesso, contribui para a diminuição do rendimento da cultura. Além da água, um outro aspecto a ser observado, e que é de suma importância, refere-se ao estado nutricional da planta. Dessa forma, para que haja uma potencialização no desenvolvimento da cultura é necessário que se façam presentes todos os nutrientes essenciais e que estes estejam disponíveis na solução do solo para serem plenamente absorvidos. Nesse contexto, o nitrogênio se destaca por ser altamente exigido pelo cafeeiro, desde o início de seu desenvolvimento até a época de plena produção, sendo o nutriente indispensável para aumentos significativos de produtividade da cultura. Diante desses argumentos, objetivou-se: avaliar os parâmetros fitométricos do café arábica (*Coffea arabica* L.) irrigado e submetido a doses de nitrogênio em diferentes fases fenológicas; avaliar a relação existente entre produção e adubação nitrogenada na determinação da melhor dose a ser recomendada;

definir as faixas críticas de nitrogênio no cafeeiro para as fases fenológicas; Determinar a quantidade de nitrogênio que foi exportado pelos frutos. O experimento foi conduzido em um cafezal irrigado de 5 anos de idade, localizado em Garanhuns-PE. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com seis tratamentos (doses de nitrogênio: 0, 100, 200, 300, 400 e 500 kg ha⁻¹) e quatro repetições, totalizando vinte e quatro plantas, onde os dados resultantes foram submetidos à análise de variância e regressão ao nível 5% de significância. Como conclusões, foi possível determinar que os tratamentos usados no experimento não explicaram as variações nos parâmetros fitométricos (altura e índice de área foliar) do *Coffea arabica* L. var. Catuaí. A produtividade que proporcionou a máxima eficiência econômica para o cafeeiro foi a de 54 sacas por hectare de café beneficiado para uma aplicação de 196,43 kg ha⁻¹ de nitrogênio ao solo, o que representou uma redução de 41,85% em adubação nitrogenada em relação à produtividade máxima. A faixa crítica do nitrogênio variou da fase fenológica de granação para a fase fenológica de maturação, tendo os respectivos valores, 25,72 a 27,19 g kg⁻¹ e 29,24 a 29,60 g kg⁻¹. A dose de nitrogênio aplicado ao solo que proporcionou a maior remoção desse elemento pelos frutos foi a de 328,62 kg ha⁻¹, onde se constatou que em um hectare foi retirado pela produção 204,31 quilogramas de nitrogênio.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L., nível crítico, manejo de irrigação

PRODUCTIVE PARAMETERS OF THE COFFEE PLANT SUBMITTED TO DOSES OF NITROGEN IN THE AREA OF GARANHUNS

Author: Matheus Pires Quintela

Adviser: Prof. Dr. Tonny José Araújo da Silva

ABSTRACT

The coffee practiced in Pernambuco, today, occupies an area of 8 hectares distributed between the Mata Norte (500 ha) and 40 towns of the Wasteland (7.5 thousand hectares). Among the major producing towns stand out Taquaritinga do Norte, Garanhuns, Bom Conselho, Belo Jardim, Brejão and Triunfo. These areas are produced a volume of coffee that correspond only 23% of the state of Pernambuco. This is possibly due to the lack of actions in the past when the coffee Northeastern hadn't incentives to plantations technically managed or specific experimental work. However, observed the importance of coffee to the State of Pernambuco, which comes to move an annual amount from R\$ 8.5 million, becoming so the second largest coffee producer in the Northeast, losing only to Bahia. The development and productivity of the coffee crop are affected by several factors, among them water, that little or in excess, contributes to the reduction in crop income. Addition of water, another aspect to be observed, and that is of extreme importance, concerns the status of the plant. Thus, to there is an enhancement in the development of culture is necessary to do these all the essential nutrients and they are available in the soil solution to be fully absorbed. In this context, nitrogen is important for being highly demanded by the coffee since the beginning of its development until the time of full production, the nutrient is essential for significant increases in the crop income. After these arguments, it was aimed at by this work: evaluate the parameters phytometric of Arabic coffee (*Coffea arabica* L.) irrigated and submitted to nitrogen at different phenological stages; evaluate the relationship between production and nitrogen application in determining the best dose be recommended; define the critical strips of nitrogen in the coffee plant for the phases phenological; determine the amount of nitrogen that is exported by fruits. The experiment was driven in a coffee plantation irrigated orchard 5 years old, located in Garanhuns-PE. The experimental design was completely used with six treatments (doses of nitrogen: 0, 100, 200, 300, 400 and

500 kg ha⁻¹) and four repetitions, totaling twenty-four plants that resulting data were analyzed of variance and regression at 5% significance level. In conclusion, it was determined that the treatments used in the experiment did not explain variations in the parameters phytometric (height and area index to foliate) *Coffea arabica* L. var. Catuaí. The productivity with the maximum economic efficiency for the coffee was of 54 bags for hectare of benefited coffee for an application of 196.43 kg ha⁻¹ of nitrogen to the soil, which represented a 41.85% reduction in fertilizer nitrogen for maximum productivity. The critical nitrogen ranged from phenological stage of grain filling for the phenological stage of maturation, and their values, from 25.72 to 27.19 g kg⁻¹ and 29.24 to 29.6 g kg⁻¹. The dose of applied nitrogen to the soil that provided the largest removal of that element for the fruits was the one of 328,62 kg ha⁻¹, where it was verified that in a hectare was removed by the production 204,31 kilograms of nitrogen.

Keywords: *Coffea arabica* L., full critique, irrigation management

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. DIAGRAMA CRONOLÓGICO DO CAFEEIRO (<i>COFFEA ARABICA</i>) NAS SEIS FASES FENOLÓGICAS (CAMARGO E CAMARGO, 2001).....	8
FIGURA 2. ESCALA FENOLÓGICA DO CAFEEIRO ARÁBICA. ADAPTADO DE PEZZOPANE ET AL. (2003).....	10
FIGURA 3. VALORES DE PRECIPITAÇÃO MENSAL ACUMULADA (MM) E TEMPERATURA DO AR MÉDIA MENSAL (°C) OCORRIDAS DURANTE O PERÍODO DO ENSAIO REALIZADO EM GARANHUNS-PE.....	20
FIGURA 4. VALORES MÉDIOS MENSIS DA UMIDADE RELATIVA DO AR (%) E RADIAÇÃO ($MJ M^{-2}$) OCORRIDOS DURANTE O PERÍODO DO ENSAIO REALIZADO EM GARANHUNS-PE	21
FIGURA 5. VALORES MÉDIOS MENSIS DO DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR (KPA) E E_{TO} ($MM DIA^{-1}$) CALCULADO PELO MÉTODO DE PENMAN MONTEITH (ALLEN ET AL., 1998) PARA O PERÍODO EXPERIMENTAL REALIZADO EM GARANHUNS – PE	22
FIGURA 6. TERCEIRO E QUARTO PARES DE FOLHAS DE CAFEEIRO (FOLHAS DIAGNÓSTICAS), UTILIZADAS PARA A DETERMINAÇÃO DA DIAGNOSE NUTRICIONAL.....	25
FIGURA 7. EQUIPAMENTO BASEADO NO LAI 2000 (A), DETALHES DO SENSOR PIRANÔMETRO TERMOPAR MODELO LP02 (B) E DO SENSOR FOTODIODO DE SILÍCIO MODELO CS300 (C) ..	29
FIGURA 8. ÂNGULOS DE CAPTAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR ABAIXO DO DOSSEL DE UMA PLANTA DE CAFEEIRO (FONTE: ADAPTADO DE COSTA, 2006).	31
FIGURA 9. EFEITO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO CRESCIMENTO RELATIVO (%) DO CAFEEIRO (<i>COFFEA ARABICA</i> L. VAR. CATUAÍ) PARA AS FASES FENOLÓGICAS DE GRANAÇÃO E MATURAÇÃO, CORRESPONDENTES AO PERÍODO DE MARÇO A SETEMBRO. GARANHUNS – PE, 2009	34

FIGURA 10. VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR NO CAFEIEIRO (<i>COFFEA ARABICA</i> L. VAR. CATUAÍ) PARA AS FASES FENOLÓGICAS DE CHUMBINHO E EXPANSÃO DOS FRUTOS, GRANAÇÃO E MATURAÇÃO, CORRESPONDENTES AO PERÍODO DE JANEIRO A JUNHO. GARANHUNS – PE, 2009. AS SETAS INDICAM AS ADUBAÇÕES.....	35
FIGURA 11. ANÁLISE DE REGRESSÃO DA PRODUTIVIDADE (SACAS DE 60 KG POR HECTARE DE CAFÉ BENEFICIADO) NO CAFEIEIRO (<i>COFFEA ARABICA</i> L. VAR. CATUAÍ) PARA OS SEIS TRATAMENTOS (0, 100, 200, 300, 400 500 KG HA ⁻¹). GARANHUNS – PE, 2009.....	36
FIGURA 12. TEOR DE NITROGÊNIO NAS FOLHAS DIAGNÓSTICAS DO CAFEIEIRO EM FUNÇÃO DAS DOSES DE NITROGÊNIO NA FASE FENOLÓGICA DE GRANAÇÃO (MARÇO DE 2009).....	38
FIGURA 13. TEOR DE NITROGÊNIO NAS FOLHAS DIAGNÓSTICAS DO CAFEIEIRO EM FUNÇÃO DAS DOSES DE NITROGÊNIO NA FASE FENOLÓGICA DE MATURAÇÃO (JUNHO DE 2009).....	38
FIGURA 14. TEOR DE NITROGÊNIO NOS FRUTOS (G KG ⁻¹) DO CAFEIEIRO (<i>COFFEA ARABICA</i> L. VAR. CATUAÍ) EM FUNÇÃO DAS DOSES DE NITROGÊNIO NO MÊS DE SETEMBRO, FASE FENOLÓGICA DE MATURAÇÃO. GARANHUNS – PE, 2009.....	41

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. RESULTADO DA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL LOCALIZADA EM GARANHUNS - PE	23
TABELA 2. FAIXAS CRÍTICAS DE NITROGÊNIO NAS FOLHAS 90 E 100% DA PRODUÇÃO MÁXIMA ESTIMADAS PARA O CAFEIEIRO (<i>COFFEA ARABICA</i> L. VAR. CATUAÍ) NAS FASES FENOLÓGICAS DE GRANAÇÃO E MATURAÇÃO. GARANHUNS-PE, 2009.....	39
TABELA 3. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS EFEITOS DE DOSE DE ADUBAÇÃO NITROGENADA (KG HA ⁻¹) E DAS ÉPOCAS DE AVALIAÇÃO PARA O CRESCIMENTO RELATIVO (%) DO CAFEIEIRO (<i>COFFEA ARABICA</i> L. VAR. CATUAÍ). DADOS TRANSFORMADOS EM $\sqrt{X+1}$. GARANHUNS – PE, 2009.....	57
TABELA 4. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS EFEITOS DE DOSE DE ADUBAÇÃO NITROGENADA (KG HA ⁻¹) E DAS ÉPOCAS DE AVALIAÇÃO PARA O ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DO CAFEIEIRO (<i>COFFEA ARABICA</i> L. VAR. CATUAÍ). GARANHUNS – PE, 2009	57
TABELA 5. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS EFEITOS DE SEIS DOSE DE ADUBAÇÃO NITROGENADA (KG HA ⁻¹) NA PRODUTIVIDADE (SACAS DE 60 KG DE CAFÉ BENEFICIADO POR HECTARE) DO CAFEIEIRO (<i>COFFEA ARABICA</i> L. VAR. CATUAÍ). GARANHUNS – PE, 2009	58
TABELA 6. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS EFEITOS DE SEIS DOSE DE ADUBAÇÃO NITROGENADA (EM KG DE N HA ⁻¹) NA ABSORÇÃO DO NITROGÊNIO PELO FRUTO (G KG ⁻¹) DO CAFEIEIRO (<i>COFFEA ARABICA</i> L. VAR. CATUAÍ). GARANHUNS – PE, 2009	58

SUMÁRIO

RESUMO	VI
ABSTRACT	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABELAS.....	XII
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 A CAFEICULTURA NO BRASIL	3
2.2 <i>COFFEA ARABICA</i>	4
2.2.1 INTERAÇÕES ENTRE AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E O CAFEIEIRO ARÁBICA	5
2.2.2 FENOLOGIA DO CAFEIEIRO ARÁBICA	7
2.2.3 BIALIDADE	10
2.3 ADUBAÇÃO NITROGENADA	12
2.3.1 ABSORÇÃO, ACÚMULO E DISTRIBUIÇÃO DO NITROGÊNIO NO CAFEIEIRO	14
2.3.2 PERDAS DE NITROGÊNIO.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	18
3.2 DADOS METEOROLÓGICOS	18
3.3 CONDIÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS PARA A REGIÃO DE GARANHUNS NO PERÍODO EXPERIMENTAL.....	19
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	22
3.5 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	23
3.6 MANEJO DA ADUBAÇÃO E CULTURA	23
3.7 PARÂMETROS AVALIADOS	24
3.7.1 <i>Teor de nitrogênio na folha e no fruto de cafeeiro</i>	24
3.7.1.1 Amostragem foliar	24
3.7.1.2 Amostragem de frutos.....	25
3.7.1.3 Concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas e nos frutos do cafeeiro	26
3.7.1.4 Nível crítico de nitrogênio para o cafeeiro	26
3.7.1.5 Remoção de nitrogênio pelos frutos do cafeeiro	27
3.7.2 <i>Parâmetros fitométricos</i>	28
3.7.2.1 Altura de planta (Ap).....	28
3.7.2.2 Índice de área foliar	28
3.7.3 <i>Produtividade da cultura</i>	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 PARÂMETROS FITOMÉTRICOS.....	33

4.1.1	<i>Altura de planta</i>	33
4.1.2	<i>Índice de área foliar</i>	34
4.2	<i>PRODUTIVIDADE DE CAFÉ</i>	35
4.3	<i>AValiação dos teores de nitrogênio e determinação das faixas críticas</i>	37
4.4	<i>TEOR DE NITROGÊNIO NOS FRUTOS DE CAFÉ</i>	40
4.5	<i>REMOÇÃO DE NITROGÊNIO PELOS FRUTOS</i>	41
5	CONCLUSÕES	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	43

1. INTRODUÇÃO

A cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) tem uma destacada importância no desenvolvimento econômico e social, propiciando um desenvolvimento regional acentuado. No cenário mundial, o café é um dos produtos agrícolas de maior significância, sendo o segundo maior gerador de divisas, perdendo apenas para o mercado do petróleo (GUIMARÃES et al., 2002).

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial desse produto agrícola há pelo menos 150 anos, sendo responsável por 30% do mercado internacional e tendo como maiores concorrentes o Vietnã e a Colômbia (NEHMI et al., 2000).

A cafeicultura utiliza mão de obra de forma intensiva e no Brasil o setor emprega direta ou indiretamente, aproximadamente, dez milhões de pessoas que se envolvem desde a produção até a sua industrialização e comercialização. No Brasil, as áreas cafeeiras estão concentradas no Centro-Sul do país, entretanto, o café arábica se encontra bastante difundido, estando presente em maior concentração nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Bahia (REVISTA CAFEICULTURA, 2009).

A cafeicultura nordestina não é considerada ocupante de posição econômica de destaque, possivelmente pela falta, no passado, de uma política que incentivasse plantios tecnicamente conduzidos ou com trabalhos experimentais específicos. Atualmente, existem em torno de mil cafeicultores no Estado de Pernambuco, responsáveis por uma produção anual de 80 mil sacas de café. Esse volume atende apenas a 23% da demanda do Estado, que é de 350 mil sacas por ano, mesmo assim, movimenta um montante de R\$ 8,5 milhões sendo o segundo maior produtor de café do Nordeste, perdendo apenas para a Bahia. Em Pernambuco a área plantada é de 8 mil hectares, distribuídos entre a Mata Norte (500 ha) e 40 municípios do Agreste (7,5 mil ha). Dentre as principais cidades produtoras destacam-se Taquaritinga do Norte, Garanhuns, Bom Conselho, Belo Jardim, Brejão e Triunfo (REVISTA CAFEICULTURA, 2009).

Assim como qualquer cultura, o desenvolvimento do cafeeiro é influenciado por vários fatores, dos quais ressalta-se a água, que escassa ou em excesso, contribui para a diminuição do rendimento da cultura, por isso, seu manejo racional é um imperativo na maximização da produção agrícola (VALNIR JUNIOR, 2000). Além

da água, outro aspecto a ser observado e que é de suma importância, refere-se ao estado nutricional da planta. Dessa forma, para que haja uma potencialização no desenvolvimento da cultura é necessário que se façam presentes todos os nutrientes essenciais e que estes estejam disponíveis na solução do solo para serem plenamente absorvidos. Nesse contexto, o nitrogênio se destaca por ser altamente exigido pelo cafeeiro, desde o início de seu desenvolvimento até a época de plena produção, sendo o nutriente que proporciona maior aumento de produtividade em plantas de café (MARTIELLO et al., 2002; SANTINATO et al., 2002; COSTA, 2006).

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. Sendo assim, o uso racional desse importante nutriente se faz necessário, não só para proporcionar o desenvolvimento da cultura, mas, para reduzir o desperdício que hoje existe no campo, proporcionando um aumento nos lucros.

Objetivou-se por meio deste trabalho: avaliar os parâmetros fitométricos do café arábica, irrigado e submetido a doses de nitrogênio em fases fenológicas; avaliar a relação entre produção e adubação nitrogenada na determinação da melhor dose a ser recomendada; definir as faixas críticas de nitrogênio no cafeeiro para as fases fenológicas e determinar a dose que proporciona a maior quantidade de nitrogênio exportado pelos frutos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cafeicultura no Brasil

A história da cafeicultura brasileira teve início por volta de 1727, quando as primeiras mudas de café foram trazidas clandestinamente pelo Sargento-Mor Francisco de Mello Palheta, a pedido do governador do Maranhão e Grão Pará da Guiana Francesa (MATIELLI e RUGGIERO, 2005).

Inicialmente plantado em Belém do Pará, o café adaptou-se ao solo, mesmo não tendo um clima tão propício ao seu desenvolvimento, tanto que, em 1731, já era cultivado em extensas áreas nos arredores da capital. Por volta de 1732, foi instalada, em Nova Iorque, a primeira bolsa de café e o produto passou a ser comercializado no mercado mundial como uma commodity (CONSELHO NACIONAL DO CAFÉ, 2009).

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

As plantações comerciais de café no Brasil encontram-se distribuídas no país entre os paralelos 8°S e 26°S, apresentando, em função de sua localização geográfica no globo e do relevo, inúmeros tipos climáticos (EVANOFF, 1994).

A área de café no Brasil ocupa atualmente 2,5 milhões de hectares, com aproximadamente seis bilhões de plantas. Está presente em mais de dois mil municípios de 16 Estados da federação, do Paraná ao Amapá, o que possibilita uma diversificada disposição espacial da produção, sendo os maiores produtores os estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Paraná e Rondônia, cujas produções somadas detêm aproximadamente 97% da produção nacional (CONAB, 2006). Em função dessa ocupação geográfica e da decorrente diversidade de climas e solos, o Brasil apresenta a vantajosa característica de produzir vários tipos de café, o que amplia em muito sua capacidade de atender às mais diferentes

exigências mundiais no que se refere a paladares e preços. Esse é um dos motivos que leva o Brasil a ocupar, cada vez mais, a posição de líder mundial, não só em quantidade, mas principalmente em qualidade, de modo a atender as peculiaridades do mercado consumidor global (EMBRAPA, 2004).

Atualmente os principais responsáveis pela liderança do Brasil na produção de café se deve as espécie cultivadas como o arábica (*Coffea arábica* L.), que representa mais de 70% da produção, e o robusta (*Coffea canephora* Pierre). Outras duas espécies produzidas em pequena escala são a *Coffea liberica* e a *Coffea dewevrei* (CONSELHO NACIONAL DO CAFÉ, 2008).

2.2 *Coffea arabica*

O café arábica (*Coffea arabica* L.), planta perene de porte arbustivo, pertencente à família Rubiaceae e produtora de frutos tipo baga, contém, normalmente, duas sementes que representam o seu produto econômico e que, depois de convenientemente processadas, são consumidas na forma de infusão. O seu teor de cafeína é baixo e oscila entre 0,9 e 1,5% (THOMAZIELLO et al, 2000).

O café arábica é originário de áreas florestais elevadas da Etiópia, próximas à linha equatorial, em latitudes variáveis de 6° a 9° N e altitudes superior a 900 metros, onde a temperatura média anual do ar oscila entre 15 e 20 °C e as chuvas são da ordem de 1600 a 2000 milímetros anuais (CARR, 2001).

O cafeeiro tem um crescimento contínuo e possui um dimorfismo nos 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 e MAESTRI, 1986). Esse dimorfismo caulinar caracteriza-se por uma diferenciação somática de natureza permanente e susceptível de ser propagada vegetativamente (ANDRÉ, 1973).

Admite-se que a espécie *Coffea arábica* é uma planta de dias curtos, como evidenciam trabalhos clássicos feitos por Franco (1940) e Piringer e Borthwick (1955). Esses autores sugerem que o fotoperíodo crítico é em torno de 13-14 horas, limite abaixo do qual o dia pode ser considerado curto para induzir a diferenciação

das gemas florais, uma vez que com fotoperíodos de até 13 horas ainda observa iniciação floral, o que não se verifica em fotoperíodos acima de 14 horas.

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

2.2.1 Interações entre as condições climáticas e o cafeeiro arábica

Para o cafeeiro, temperaturas médias anuais entre 18 e 23 °C, em função dos novos cultivares e manejo da cultura, parecem ser os limites mais indicados no estabelecimento das áreas plenamente aptas à cafeicultura. Os índices térmicos médios anuais considerados ideais para a cafeicultura variam, entre 19 e 21 °C, desde que sejam regiões livres ou pouco sujeitas a geadas. Regiões onde a temperatura média anual é inferior a 18 °C e superior a 23 °C são consideradas inaptas ao cultivo de café arábica (ALFONSI, 2008).

Nas condições brasileiras de cultivo de café, a falta de luz não é um fator limitante para a produtividade, pois o café é cultivado a pleno sol. Mas o excesso de luz sim, pois esta acentua a bienalidade do cafeeiro, além de causar a escaldadura em folhas do cafeeiro, danificando o aparelho fotossintético das mesmas (ALFONSI, 2008).

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

Em estudos realizados por Barros e Maestri (1972) em Viçosa-MG, região tropical, a irrigação não alterou o ritmo e tampouco a taxa de crescimento do cafeeiro arábica durante a estação seca. O período de crescimento intenso ocorreu

de outubro a março, período de dias longos, com temperaturas mais elevadas e disponibilidade de água. Esse comportamento levou os autores a concluir que, o fator hídrico não é determinante da redução do crescimento vegetativo nas estações mais secas e frias do ano (abril – setembro), e que o fotoperíodo e a variação de temperatura são mais importantes na determinação da periodicidade da planta.

O crescimento das folhas segue o mesmo ritmo dos ramos (formação do nó), e consiste num processo contínuo durante o ano, cuja taxa modifica sensivelmente com as condições climáticas. No Brasil o número de pares de folhas formados nos ramos varia pouco na estação quente e chuvosa, contudo altera acentuadamente na estação fria e seca (ALFONSI, 2008).

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

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

A formação das gemas florais em plantas perenes tem sido relacionada a déficit hídrico moderado (GOUVEIA, 1984). A indução floral do cafeeiro se relaciona ao balanço hídrico da região, e que época mais seca beneficia a diferenciação das gemas florais (GOUVEIA, 1984). Porém em épocas de seca acentuada, na fase de crescimento dos botões, há um acúmulo de uma grande quantidade de inibidores de crescimento, como ácido abicísico, o que estabelece um balanço desfavorável na relação entre promotores (giberelina e citocinina) e inibidores (ácido abicísico) levando a planta a entrar em dormência. Essa fase termina quando o estímulo para a floração ocorre com as primeiras chuvas (acima de 15 mm) pela hidratação da planta e abaixamento da temperatura, depois de um período seco (THOMAZIELLO et al., 2000).

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

A indisponibilidade de água juntamente com temperaturas elevadas, são fatores ambientais que definem a formação de sementes pequenas e menor rendimento do cafezal. Esse menor rendimento nos cafezais ocorre devido à queda de “frutos chumbinho” no início do período de expansão rápida dos frutos, cujo crescimento inicial em tamanho é praticamente coincidente com a formação do perisperma, tecido aquoso translúcido, firme e que ocupa todo interior do fruto, com a finalidade de fornecer água e nutrientes ao endosperma (MAZZAFERA e GUERREIRO FILHO, 1991).

2.2.2 Fenologia do cafeeiro arábica

O conhecimento do ciclo fenológico, ou seja, estudo dos eventos periódicos da vida da planta em função de suas reações as condições do ambiente, é fator importante a ser considerado na prescrição das adubações para obter boa produtividade e qualidade do produto (KOBAYASHI, 2007).

Camargo e Camargo (2001) apresentaram um modelo simples (Figura 1) para definir e esquematizar a seqüência de fases fenológicas do cafeeiro arábica, nas condições tropicais do Brasil. Posteriormente Pezzopane et al. (2003), propuseram uma escala visual de avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro, baseadas em fotografias, através de notas de 0 a 11 ilustradas na Figura 2.

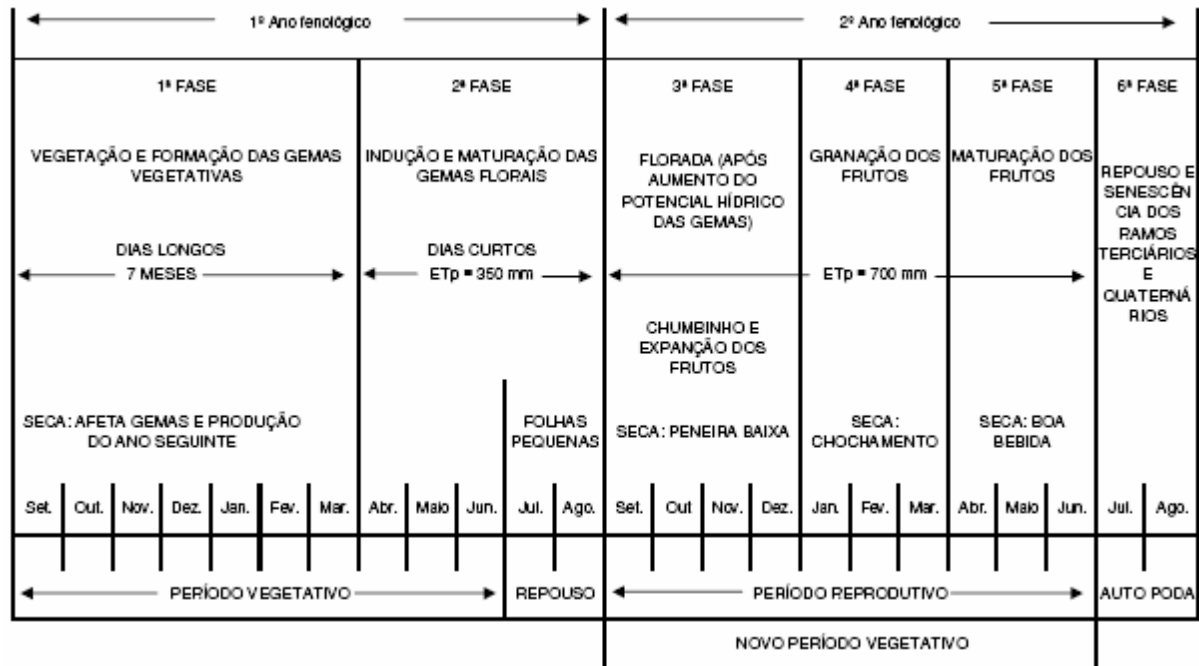


Figura 1. Diagrama cronológico do cafeeiro (*Coffea arabica*) nas seis fases fenológicas (CAMARGO e CAMARGO, 2001)

O modelo de Camargo e Camargo (2001) é dividido em dois anos fenológicos e seis fases.

- Primeira fase: abrange os meses de setembro a março. Corresponde a um período de dias longos, com fotoperíodo acima de 13-14 horas de luz efetiva. É a fase da vegetação e formação das gemas foliares.
- Segunda fase: vai de abril a agosto, também depende da condição fotoperiódica, é um período de dias curtos. Corresponde a indução, maturação e dormência das gemas florais, formadas na primeira fase. Estas gemas ficam aptas a se transformarem em botões florais e florescem após um choque hídrico ocorrido na terceira fase (GOUVEIA, 1984). No final desta fase, em julho e agosto, as plantas entram num relativo repouso da parte aérea emitindo um ou dois pares de folhas bem pequenos. É neste período que há o crescimento radicular, pois as raízes passam a ser o dreno principal dos fotoassimilados do cafeeiro (CANNELL e HUXLEY, 1969; CANNELL, 1971). Nota zero (0) na escala proposta por Pezzopane et al. (2003).
- Terceira fase: inicia-se com a florada após um choque hídrico provocado por uma chuva ou irrigação, promovendo um aumento do potencial hídrico nas gemas

florais maduras. Estas se transformam em botões florais e florescem após cerca de uma semana. Em seguida vem a fase de frutos “chumbinhos” e expansão rápida (MEIRELES et al., 2004). Esta fase vai de setembro até dezembro tendo a água e a temperatura como principais fatores ambientais. Se houver estiagem prolongada pode ocasionar a formação de frutos pequenos (peneira baixa). A temperatura, se muito elevada e acompanhada de um intenso déficit hídrico resulta em flores estrela e posterior abortamento das flores. Nota um (1), dois (2), três (3), quatro (4), cinco (5) e seis (6) na escala proposta por Pezzopane et al. (2003).

- Quarta fase: ocorre nos meses de janeiro a março, corresponde a granação dos frutos. Estiagens severas nesta época podem causar defeitos nos frutos, como: preto, verde e ardido. Nota sete (7) na escala proposta por Pezzopane et al. (2003).
- Quinta fase: corresponde a maturação dos frutos. Abrange normalmente os meses de abril a junho. Depende da precocidade da cultivar e da acumulação de energia solar após a florada (MEIRELES et al., 2004). Esta fase é importante na determinação da qualidade do produto. Notas oito (8), nove (9), dez (10) e onze (11) na escala proposta por Pezzopane et al. (2003).
- Sexta fase: ocorre nos meses de julho e agosto, corresponde ao repouso e senescência do cafeeiro após a colheita.

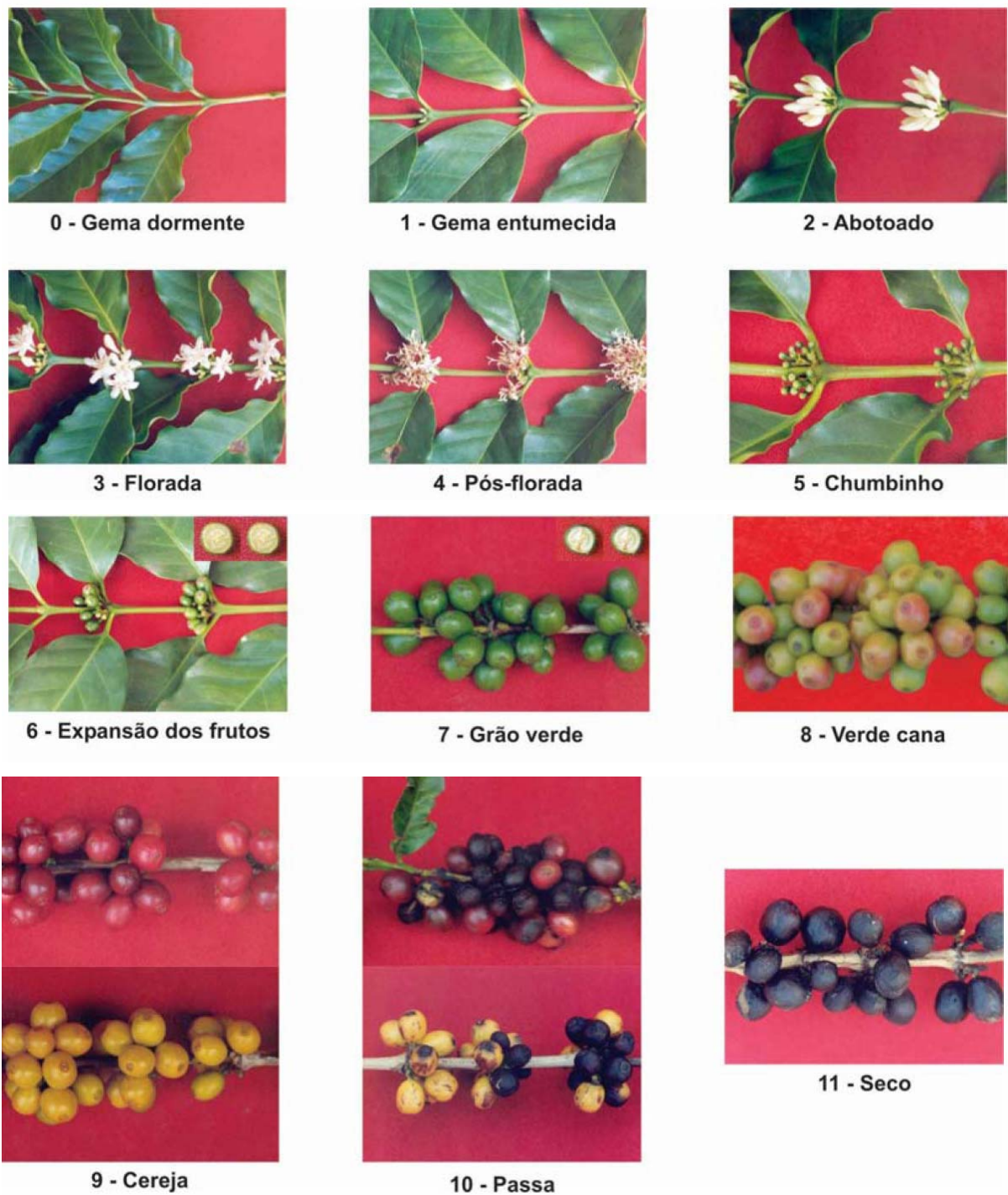


Figura 2. Escala fenológica do cafeeiro arábica. Adaptado de PEZZOPANE et al. (2003)

2.2.3 Bionalidade

Em cultivos de cafeeiro a pleno sol há uma alternância de produção entre safras sucessivas, em que após uma safra elevada de grãos segue uma safra de

baixa produção. A natureza fisiológica da bienalidade de produção do cafeeiro se deve a dois fatos em conjunto (1) a concorrência por fotoassimilados entre as funções vegetativas e reprodutivas (FAHL et al., 2001) e (2) a produção ocorre, significativamente, nas partes dos ramos que ainda não produziram e cresceram na estação anterior.

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

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

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

Adversidades climáticas como veranicos, geadas e excesso de chuva, podem alterar, intensificar ou amenizar a bienalidade do cafeeiro. Dependendo do estágio

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

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

2.3 Adubação nitrogenada

O efeito da adubação nitrogenada é de considerável importância para a cultura do 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 pela quantidade extraída do solo como pela exportada através do fruto. É o nutriente que proporciona maior aumento de produtividade em café (COSTA, 2006).

A adubação assume um papel importante na produtividade, pois existe uma relação direta entre a quantidade de nutriente demandada pela planta e a produtividade. Quanto maior a produção, maior é a imobilização de nutrientes nos frutos, e maior a taxa de absorção de nutrientes pela planta, e, portanto, maior quantidade deverá ser aplicada ao solo (PREZOTTI, 2001).

De maneira generalizada, a recomendação usual 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 (RAIJ et al., 1996; RIBEIRO et al., 1999), que serão fornecidas no período chuvoso, variavelmente de abril a julho, compreendendo as fases de floração, frutificação e desenvolvimento vegetativo (RENA e MAESTRI, 1987). É importante salientar que, segundo Moraes et al. (1987), a maior absorção de nitrogênio ocorre no período chuvoso, com demanda maior pelos frutos aos 150-210 dias após o florescimento (época de maturação).

Franco et al. (1960), em experimentos no Estado de São Paulo, demonstraram grande resposta ao nitrogênio, com efeitos positivos até 360 kg ha⁻¹ de nitrogênio e pequena resposta ao potássio.

Cervellini et al. (1986) constataram efeito de até 120 g por cova de nitrogênio, em cafezal com 1.667 plantas por hectare, o que equivale a cerca de 200 kg ha⁻¹. Miguel et al. (1983a) observaram que doses de apenas 84 kg ha⁻¹ de nitrogênio ou de K₂O eram suficientes para produtividade máxima. Em experimento com populações de cafeeiro de 2.857 e 5.714, Miguel et al. (1983b) constataram que apenas 25% da dose máxima testada de 125 g por planta de N ou K₂O foi suficiente para atingir produções máximas, e que o cafeeiro plantado mais densamente produziu o dobro em relação ao menos denso.

Viana e Miguel (1987) aplicaram adubo contendo N e K em três parcelamentos, em quantidades iguais, numa dose contendo 20% da quantidade do adubo na primeira aplicação, 30% na segunda e 50% na terceira, não encontrando diferenças na produção com relação ao tipo de fracionamento da dose. 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.

Para Mattiello et al. (1983) 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.

Da mesma forma, Silva et al. (1984) verificaram que a fase mais indicada para a adubação nitrogenada deve ser a de pós-florada e antes do início da granação (ou fase verde-aquoso para verde-sólido), em 2 a 3 parcelamentos, visto que adubações antes da florada e início da granação apresentaram efeitos menos pronunciados no aumento da produtividade.

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 8 a 16 vezes. O mesmo acontece quando da utilização de sistema pivô central (SANTINATO; FERNANDES e FERNANDES, 1996).

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.

2.3.1 Absorção, acúmulo e distribuição do nitrogênio no cafeeiro

Dentre os nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, o nitrogênio é o 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). Pela grande demanda e baixa disponibilidade, o nitrogênio, torna-se um dos nutrientes mais limitantes à produtividade do cafeeiro (FERREIRA, 2005). O nitrogênio é absorvido principalmente nas formas de NO_3^- e NH_4^+ , que se convertem continuamente em compostos orgânicos (CARVAJAL, 1984).

O nitrogênio, geralmente, representa de 10 a 40 g kg^{-1} de massa seca dos tecidos vegetais, sendo componente de muitos compostos essenciais aos processos de crescimento vegetal, como aminoácidos e proteínas. Esse nutriente participa com quatro átomos na molécula de clorofila e é componente dos ácidos nucleicos que são indispensáveis não só como material de construção dos tecidos vegetais, mas também nos núcleos celulares e protoplasma em que se encontram os controles hereditários (MENGEL e KIRKBY, 2001).

O nitrogênio é facilmente redistribuído na planta, via floema e, conseqüentemente, as plantas deficientes em nitrogênio apresentam sintomas primeiramente nas folhas velhas. A fração protéica do nitrogênio representa ao redor de 80 a 85% do total de nitrogênio no cafeeiro (MENGEL e KIRKBY, 2001). A disponibilidade de nitrogênio é um dos fatores dominantes, que controla os processos de crescimento e desenvolvimento da planta e, provavelmente, o mais importante a limitar a produção de biomassa permitida pelas condições climáticas nos ecossistemas naturais (NABINGER, 1996).

Segundo Malavolta (2002), as flores constituem um forte dreno de nutrientes e têm, em relação às folhas e ramos, teores mais elevados. Foi demonstrado por Catani et al. (1967), Gallo et al. (1970) e Hiroce (1981), que durante a formação do fruto havia um decréscimo na concentração foliar dos principais macronutrientes,

tornando evidente que qualquer interpretação dos teores de nutrientes encontrados pela análise foliar deve levar em consideração a época de amostragem.

Depois que a folha do cafeeiro termina sua expansão ela passa a ser potencial exportadora de nutrientes. De acordo com Calbo (1989), a degradação de compostos celulares resulta na migração de fotoassimilados e elementos minerais móveis, especialmente N e K para drenos tais como frutos e raízes, resultando até na queda da folha. Os casos severos de desfolhamento, conhecidos por depauperamento do cafeeiro, de acordo com Rena et al. (1983), ocorrem devido à excessiva mobilização de nutrientes pelos frutos, resultado da grande carga e pequena razão folha/fruto, característicos da espécie.

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

A composição mineral dos tecidos vegetais pode ser influenciada por uma série de fatores pertinentes à própria planta e ao ambiente: espécie, variedade ou porta-enxerto, estágio vegetativo e idade da planta, distribuição, volume e eficiência do sistema radicular, produção pendente, variações climáticas, disponibilidade de água e nutrientes no solo, estado fitossanitário da planta, tipo e manejo do solo e interações entre nutrientes. Assim, a obtenção de padrões apropriados a partir da análise de tecidos é de fundamental importância (INGESTAD e AGREN, 1995; MARTINEZ et al., 1999).

2.3.2 Perdas de nitrogênio

O uso incorreto dos adubos nitrogenados é caracterizado pela aplicação de doses muito baixas ou altas a ponto de serem desnecessárias, aplicadas 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 (FENILLI, 2006).

A eficiência da adubação nitrogenada é conhecida apenas indiretamente, por meio da resposta da cultura em termos de produção, mas de uma maneira geral as

culturas aproveitam mais de 60% do nitrogênio aplicado como fertilizante. Como as doses de nitrogênio aplicadas são altas e realizadas na época das chuvas, pressupõe-se que as perdas sejam significativas (FENILLI, 2006).

As principais formas de perdas do N são por volatilização e lixiviação. A volatilização consiste na perda de nitrogênio sob a forma de amônia (NH_3) gasosa para a atmosfera (TRIVELIN; LARA-CABEZAS; BOARETTO, 1994; MARTHA JR., 2003).

A amônia é constantemente formada nos solos devido à degradação biológica de compostos orgânicos e fertilizantes. A partir do momento em que a amônia está sob a forma de gás nas condições normais de temperatura e pressão, é esperado que qualquer amônia que esteja presente no solo, água ou fertilizante seja volatilizada para a atmosfera. Porém a reação da amônia com íons e sua forte afinidade com a água são fundamentais na regulação das taxas de perdas, variando assim a estabilidade da amônia formada (PEOPLES et al., 2004). A volatilização da amônia acontece devido à diferença entre a concentração de amônia na atmosfera e a da amônia que está em equilíbrio no solo, na água ou nas folhas das plantas (FRENEY; SIMPSON; DENMEAD, 1983). Essa perda pode corresponder a 50% do nitrogênio aplicado (TERMAN, 1979).

O processo de lixiviação é caracterizado pelo deslocamento de sais solúveis na solução do solo, através do movimento descendente da água ao longo do perfil do solo (KIEHL, 1987). Essa perda de nitrogênio se dá na forma de nitrato (NO_3^{-1}). Devido ao predomínio de cargas negativas na camada arável, a sua adsorção eletrostática é pequena, sendo o NO_3^{-1} considerado o mais móvel no solo é a forma mais disponível às plantas. Desta forma, o nitrato permanece na solução do solo, o que favorece sua lixiviação no perfil para profundidades inexploradas pelas raízes (SANGOI et al., 2003).

Para se evitar o risco de perdas de nitrogênio, Malavolta (1993) recomenda o parcelamento, 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).

Vários trabalhos têm mostrado que o nitrato, por ser um ânion, é facilmente lixiviado no perfil do solo sendo levado para fora do alcance das raízes das plantas

podendo atingir as águas subsuperficiais (MUCHOVEJ e RECHEIGL, 1994; COSTA et al., 1999; SILVA et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2001), atuando neste caso como elemento poluente de lençóis freáticos, bem como de lagoas e águas superficiais (OLIVEIRA et al., 2000). Entretanto, um manejo adequado pode controlar a lixiviação do nitrato aumentando a permanência do mesmo no solo. Assim, tem se observado que as perdas de nitrato por lixiviação em solos arenosos são mínimas quando o nitrogênio é aplicado em uma só vez, porém em taxas menores que $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (MUCHOVEJ e RECHEIGL, 1994). Já no caso do íon amônio, por ele ser um cátion, é facilmente retido nas cargas eletronegativas das argilas e da matéria orgânica do solo, o que minimiza a sua perda (LOPES, 1998).

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). Levando 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, dessa forma, as principais perdas de nitrogênio.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda São Luiz, localizada na zona rural da Cidade de Garanhuns-PE, cujas coordenadas de latitude e longitude são, respectivamente, 08°53'25" sul e 36°29'34" oeste, tendo uma altitude média de 900 metros. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Csa “clima temperado mediterrâneo” mesotérmico com verão seco e quente. A temperatura média é de 22 °C, sendo que no mês mais frio chega a atingir 15,4 °C. Em relação à precipitação, a média acumulada anualmente é de 998,4 milímetros, distribuídos em sua maior proporção nos meses de abril, maio, junho e julho.

A área experimental faz parte de uma lavoura cafeeira (*Coffea arabica* L. var. Catuaí, um híbrido da variedade Novo Mundo e da Caturra) com cinco anos de formada. O experimento está localizado no setor 03 da Fazenda São Luiz, área irrigada, onde o espaçamento da cultura é de 3 x 0,80 m proporcionando uma densidade de plantio de 4166 plantas por hectare.

O sistema de irrigação adotado pela fazenda é o gotejamento, disposto em linhas laterais e gotejadores distribuídos no mesmo espaçamento entre plantas (0,8 m) e vazão de 4 L h⁻¹. Esse sistema era acionado automaticamente no período noturno devido às baixas taxas de energia (tarifa verde).

3.2 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos foram obtidos pelo Posto Agrometeorológico automatizado do INMET (Estação Garanhuns – A322, latitude 8°30'25" sul e longitude 36°29'50" sul) localizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco em Garanhuns a uma distância de 4 km da área, onde se coletaram os seguintes atributos climáticos: temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, precipitação e radiação solar. Esses dados deram suporte ao manejo de irrigação que foi realizado de acordo com a demanda climática, ou seja, por meio da evapotranspiração de referência corrigidos pelos coeficientes de cultivo da cultura através do método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), pela Equação 1:

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

Onde:

$ETo_{(PM)}$ - evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith, mm dia⁻¹;

Rn - radiação líquida, MJ m⁻² dia⁻¹;

G - fluxo de calor no solo, MJ m⁻² dia⁻¹;

T - temperatura média do ar, °C;

V - velocidade média do vento a 2 m de altura, m s⁻¹;

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

Δ - Declividade da curva de pressão de vapor, kPa °C⁻¹;

γ - constante psicrométrica, kPa °C⁻¹, que para psicrômetros não ventilados é 0,081;

3.3 Condições agrometeorológicas para a região de Garanhuns no período experimental.

A temperatura média mensal do ar oscilou entre a mínima de 19,4 °C em julho de 2009 e a máxima de 23,2 °C em março de 2009 (Figura 3). Essa variação encontra-se dentro dos limites de temperatura consideradas ideais para o pleno desenvolvimento vegetativo e produtivo do cafeeiro, visto que médias anuais entre 18 e 23 °C são os limites mais indicados ao *Coffea arábica* L. (ALFONSI, 2008).

As precipitações acumuladas no período somam um total de 741 mm distribuídos de forma desigual entre os meses. As menores precipitações acumuladas mensais ocorreram nos meses de janeiro, março e setembro de 2009 (15,4 mm, 15,6 mm e 13,4 mm, respectivamente), e as maiores nos meses de abril e maio de 2009 (143,6 e 149 mm, respectivamente) (Figura 3). Os meses de baixo fornecimento hídrico em Garanhuns coincidem com os estádios fenológicos críticos da cultura (florescimento e granação), momentos em que o cafeeiro demanda muita água, fator que provoca redução na produção e qualidade do café (CAMARGO e CAMARGO, 2001). Segundo Matiello (1991), a

ocorrência de estiagens ocasionais e deficiências hídricas acentuadas na fase de frutificação ou expansão afetam o crescimento dos grãos. Adicionalmente, estiagens na fase de granação, quando os frutos estão se solidificando internamente, poderão ocasionar o surgimento de frutos chochos ou mal granados (SILVA et al., 2002).

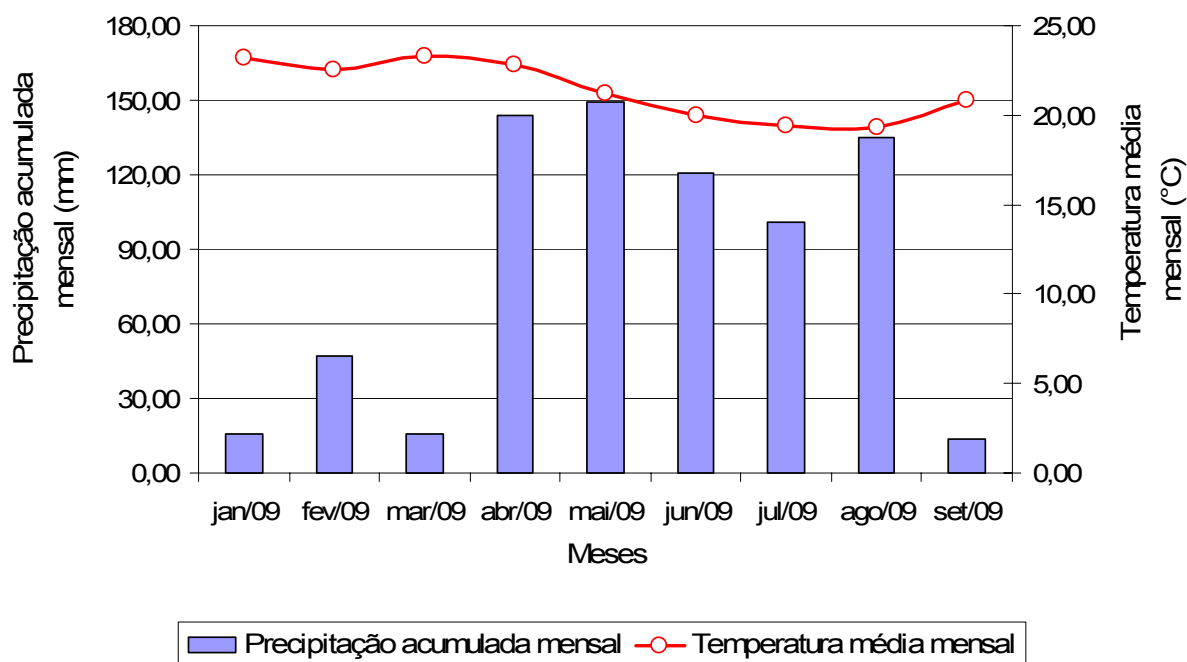


Figura 3. Valores de precipitação mensal acumulada (mm) e temperatura do ar média mensal (°C) ocorridas durante o período do ensaio realizado em Garanhuns-PE

De acordo a Figura 4, a umidade relativa do ar (UR) média foi de 82,24%, tendo como valores mínimo e máximo 71,2 e 89,4% para os meses de janeiro e junho de 2009, respectivamente. A umidade relativa é um fator que interfere diretamente no movimento estomático dos cafeeiros, onde um aumento deste elemento meteorológico parece concorrer para a maximização da eficiência do uso de água (taxa de fotossíntese por unidade de água transpirada), mantendo os estômatos abertos, permitindo assim, um fluxo adequado de CO₂ para o processo fotossintético, contudo, sem haver perda substancial de água, via transpiração (DAMATTA e RENA, 2002). A radiação é um dos parâmetros que age diretamente no processo transpiratório do cafeeiro, sendo que nas

condições de Garanhuns foi constatada uma média de $11,54 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para a radiação líquida, variando de $8,05$ a $13,59 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ durante o período ,avaliado.

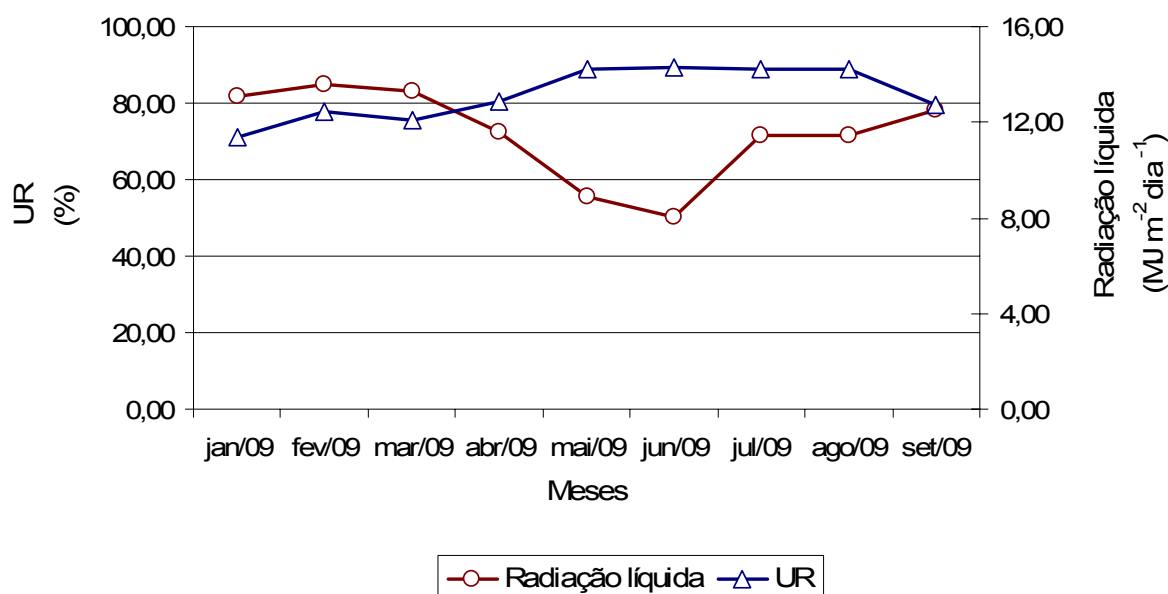


Figura 4. Valores médios mensais da umidade relativa do ar (%) e Radiação (MJ m^{-2}) ocorridos durante o período do ensaio realizado em Garanhuns-PE

Na Figura 5 estão ilustrados as curvas de evapotranspiração de referência (ET_o) e do déficit de pressão de vapor, ambas possuindo um comportamento similar, isso se deve a interação entre déficit de pressão de vapor e movimento da água através da planta (transpiração). O movimento de água é governado pelo gradiente de potencial da água entre o sistema solo, planta e atmosfera, esse gradiente surge a partir do momento em que ocorrem diferentes concentrações de umidade entre os componentes do sistema. Quando surge uma condição de déficit de pressão de vapor, o ar torna-se ávido por água, acarretando assim um movimento de água pelo sistema. Para as condições de Garanhuns, o déficit de pressão de vapor média foi de $0,73 \text{ kPa}$ durante a coleta de dados meteorológicos, variando de $0,45 \text{ kPa}$ a $1,15 \text{ kPa}$, já

a ETo apresentou um valor médio de 3,72 mm dia⁻¹, variando entre 2,37 a 5,04 mm dia⁻¹.

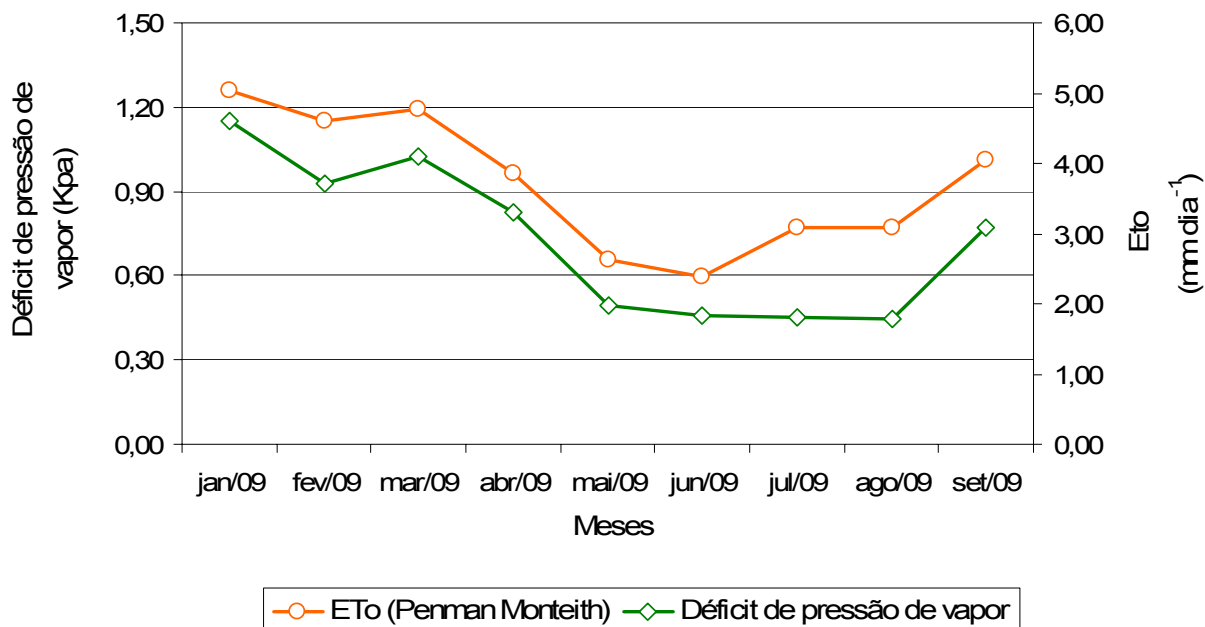


Figura 5. Valores médios mensais do déficit de pressão de vapor (KPa) e ETo (mm dia⁻¹) calculado pelo método de Penman Monteith (ALLEN et al., 1998) para o período experimental realizado em Garanhuns – PE

3.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, composto por seis tratamentos representados pelas doses de nitrogênio (0, 100, 200, 300, 400 e 500 kg ha⁻¹ano⁻¹) e quatro repetições, sendo cada parcela composta por uma planta de café, totalizando 24 unidades experimentais. As unidades experimentais foram selecionadas pela sua uniformidade em termos de desenvolvimento. A fonte do nitrogênio utilizado foi o fertilizante uréia (45% de N) por ser facilmente comercializado e comumente aplicado pelos produtores de café da região.

3.5 Caracterização do solo da área experimental

A caracterização da fertilidade do solo foi realizada no ano anterior a aplicação dos tratamentos (setembro de 2008). O procedimento recomendado para culturas perenes prevê amostragens simples na projeção da saia das plantas e outras no meio das entrelinhas ambas com profundidade de 0-20 cm e de 20-40 cm. As amostras simples obtidas em profundidades diferentes foram misturadas em separado, obtendo-se no final duas amostras compostas, uma representativa da profundidade de 0-20 cm e a outra de 20-40 cm. A Tabela 1 apresenta o resultado da análise química do solo.

Tabela 1. Resultado da análise química do solo da área experimental localizada em Garanhuns - PE

Camadas cm	pH	P mmol dm ⁻³	K	V %	m	C g kg ⁻¹	MO
0-20	6,2	1,06	2,60	69,47	0,97	6,50	11,20
20-40	5,6	0,43	4,10	61,12	3,91	4,60	8,00

Camadas cm	H	Al	Ca Cmol _c dm ⁻³	Mg	SB	CTC
0-20	2,20	0,00	3,20	1,56	5,12	7,37
20-40	2,34	0,00	2,20	1,22	3,93	6,43

3.6 Manejo da adubação e cultura

As doses de nitrogênio foram aplicadas separadamente via fertirrigação de forma manual (diluição do fertilizante e aplicação com regadores), essas doses foram aplicadas em três vezes compreendendo os meses de janeiro, fevereiro e março de 2009. Os demais fertilizantes (fontes de fósforo e potássio) foram aplicados normalmente via sistema de irrigação por gotejamento e iguais para todas as parcelas experimentais, sendo as doses estabelecidas segundo resultados de análise do solo e necessidade da cultura. Aplicaram-se as fontes de fósforo e

potássio em doze vezes, sendo duas aplicações por mês, envolvendo seis meses, são eles: janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho de 2009.

Os tratos culturais adotados no experimento foram os mesmos utilizados na área total do cafezal. Não houve aplicação de herbicidas, fungicidas e inseticidas durante a condução.

3.7 Parâmetros avaliados

3.7.1 Teor de nitrogênio na folha e no fruto de cafeeiro

3.7.1.1 Amostragem foliar

A amostragem de folhas do cafeeiro com a finalidade de avaliação inicial do estágio nutricional, em relação aos teores foliares de nitrogênio, foi realizada na época da primavera de acordo com as recomendações propostas por MALAVOLTA et al. (1997), em setembro de 2008, compreendendo a retirada do 3º e 4º pares de folhas a partir da ponta dos ramos a meia-altura e produtivos (folhas diagnósticas), conforme figura 6. Adicionalmente, para acompanhamento dos teores foliares de N, foram realizadas amostragens nos meses de março, junho, julho e setembro 2009. No experimento, composto por 24 unidades experimentais, foram coletadas quatro folhas dos dois lados da planta, perfazendo-se um total de 32 folhas por tratamento. Esses materiais foram lavados para a retirada de resíduos minerais que por ventura exista depositado na superfície foliar e encaminhados ao laboratório em sacos de papel para serem submetidos a uma secagem a temperatura de 70 °C em estufa de circulação forçada até atingir peso constante. Após a secagem todo o material vegetal foi triturado e submetido a análises laboratoriais.



Figura 6. Terceiro e quarto pares de folhas de cafeeiro (folhas diagnósticas), utilizadas para a determinação da diagnose nutricional

3.7.1.2 Amostragem de frutos

A amostragem de frutos do cafeeiro para determinação dos teores de nitrogênio foi realizada em setembro de 2009 quando se encontraram em sua maioria nos estádios fenológicos de cereja e passa. As amostragens compreenderam uma quantidade de 2000 g de frutos por tratamento, onde esse material foi previamente lavado e em seguida submetido a uma secagem ao sol por três semanas. Após esse procedimento, retirou-se uma sub-amostra de 60 g dos frutos para secagem a 70 °C em estufa de circulação forçada até peso constante. Após a secagem todo o material foi triturado e submetido a análises laboratoriais.

3.7.1.3 Concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas e nos frutos do cafeeiro

Para avaliação de nitrogênio total nas folhas diagnósticas e nos frutos do cafeeiro foi realizada inicialmente uma digestão sulfúrica (mistura digestora) obtendo-se um extrato, e em seguida uma destilação a vapor. O material obtido da destilação foi submetido a uma titulação com ácido sulfúrico para a determinação da concentração de nitrogênio.

A digestão envolve a adição de 7 ml da mistura digestora em 100 mg da amostra vegetal contida em tubos digestores. Essa mistura digestora é composta por: 175 ml de água destilada, 3,6 g de selenito de sódio anidro ou 5,47 g de selenito de sódio penta hidratado, 4 g de sulfato de cobre penta hidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), 21,3 g de sulfato de sódio (Na_2SO_4) anidro ou 48,5 g de sulfato de sódio deca hidratado e 200 ml de ácido sulfúrico concentrado (36 N). O material contido no tubo digestor foi levado ao bloco digestor localizado em uma capela onde foram submetidos a uma seqüência de temperaturas (uma hora a 100 °C, uma hora a 200 °C e uma hora a 300 °C), obtendo-se no final um líquido esverdeado tendendo a transparente onde o nitrogênio se encontra na forma de NH_4^+ .

O digerido foi dissolvido em 10 ml de água destilada e a solução, em seguida, levada ao destilador de micro Kjeldahl. No destilador o nitrogênio mineralizado (NH_4^+) foi volatilizada na forma de amônia (NH_3) pela ação de uma base forte (25 ml de NaOH 50%) e, em seguida, é recebido por 10 ml da solução de ácido bórico mais indicador misto (solução alcoólica de verde de bromocresol e solução alcoólica de vermelho de metila), tornando-se disponível para a titulação na fase seguinte.

Após a destilação, a amônia (NH_3) foi titulada pelo ácido sulfúrico (H_2SO_4 0,05 N) e o nitrogênio, quantificado estequiometricamente.

3.7.1.4 Nível crítico de nitrogênio para o cafeeiro

O nível crítico de um determinado nutriente na planta é definido como o valor da concentração que separa a zona de deficiência da zona de suficiência.

Acima dele, a probabilidade de haver aumento na produção pela adição do nutriente é baixa; abaixo, a taxa de crescimento, a produção e a qualidade diminuem significativamente (MALAVOLTA et al., 1997).

Entre os critérios para interpretar os resultados da análise química do tecido vegetal, o nível crítico ainda é o mais utilizado. Isso se deve a facilidade de interpretação dos resultados e a independência entre os níveis (a concentração de um nutriente não afeta a classificação do outro). Entretanto, apresenta como desvantagens a impossibilidade de determinar o grau da deficiência ou do excesso e, ainda, a limitação em identificar qual o nutriente mais problemático, quando mais de um nutriente é limitante (MARTINEZ et al., 1999).

Para a determinação dos níveis críticos, foram utilizados modelos matemáticos que adequassem as doses de nitrogênio aplicado no solo aos teores de nitrogênio nas folhas. Para efeito significativo entre doses de nitrogênio e produtividade em sacas por hectare de café beneficiado, foram realizadas análises de regressão. A partir daí, efetuou-se a derivação da equação de regressão, encontrando-se o ponto de máxima produtividade. Em seguida, foram encontrados os valores de 90% da máxima produtividade (REUTER e ROBINSON, 1988), identificando, posteriormente, a dose de adubação que proporcionou essa produtividade. As doses de adubação necessária para obter a máxima produtividade e 90% da produtividade máxima foram substituídas nas equações de regressão que relacionam as doses de nitrogênio aplicadas com seus teores de nutriente nas folhas.

3.7.1.5 Remoção de nitrogênio pelos frutos do cafeeiro

A remoção de nitrogênio foi calculada pela relação entre a produtividade (quilograma de café beneficiado por hectare) e o seu teor nos frutos.

3.7.2 Parâmetros fitométricos

3.7.2.1 Altura de planta (Ap)

Na determinação da altura da planta foi utilizada uma régua graduada (mira falante), medindo-se a distância entre o colo da planta ao ápice da mesma.

3.7.2.2 Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF) foi estimado por meio de um método não destrutivo, em que foi utilizado um medidor de área foliar baseado no princípio de ação do medidor LICOR, modelo LAI-2000.

O equipamento desenvolvido para o experimento é composto por duas unidades sensoras: uma contendo o sensor piranômetro termopar modelo LP02 com faixa de medida entre 305 a 2000 nm com erro de precisão de $\pm 5\%$ que foi instalado na altura do dossel e o segundo sensor, um piranômetro de fotodiodo de silício modelo CS300 com faixa de medida entre 300 a 1100 nm com erro de precisão de $\pm 5\%$, que foi instalado abaixo da copa. O conjunto formado por esses dois sensores foi ligado ao “datalogger” marca Campbell, modelo CR 510 onde foram determinadas as leituras instantâneas de radiação acima e abaixo do dossel, essas leituras variavam a cada 5 segundos conforme programação estipulada para o equipamento (Figura 7).

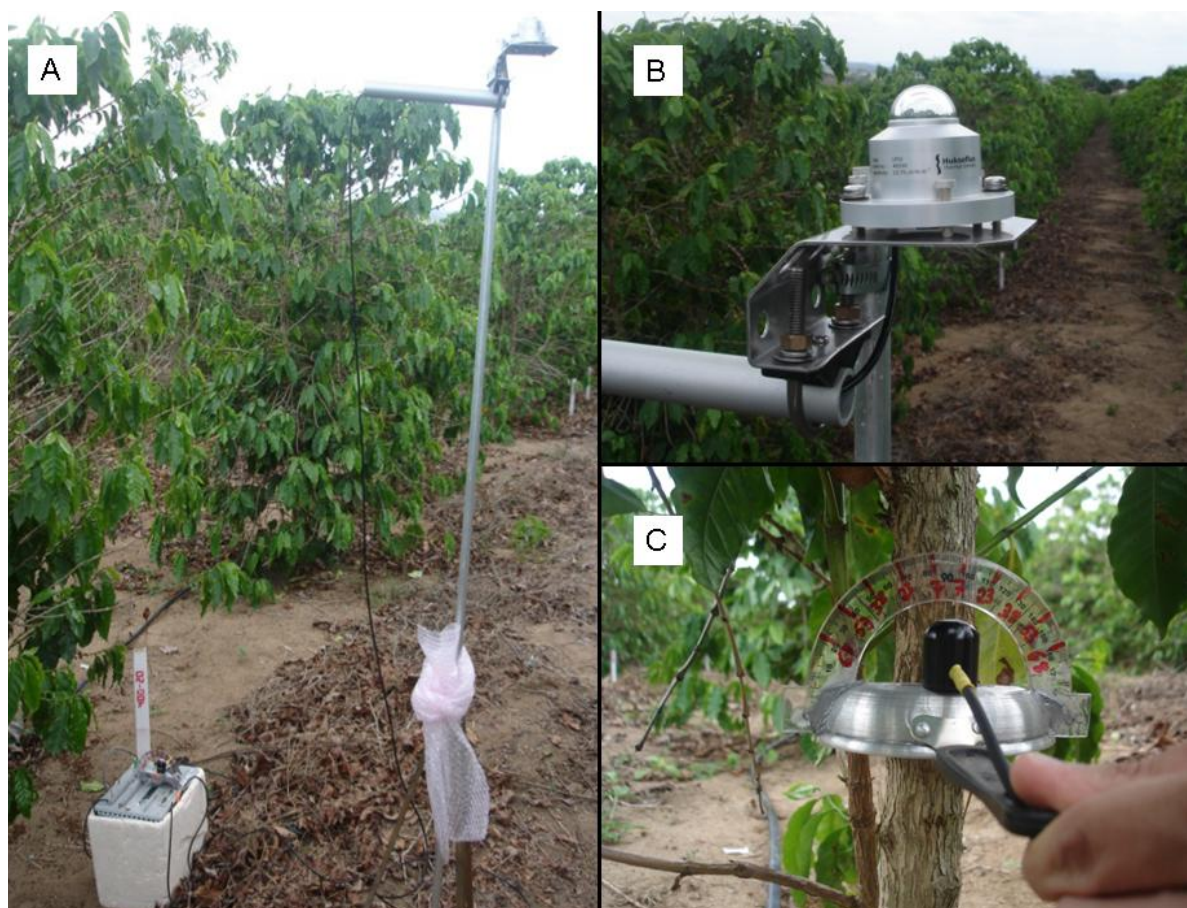


Figura 7. Equipamento baseado no LAI 2000 (A), detalhes do sensor piranômetro termopar modelo LP02 (B) e do sensor fotodiodo de silício modelo CS300 (C)

Segundo LI-COR (1992), o LAI-2000 utiliza um sensor de luz que mede a radiação difusa em cinco bandas angulares distintas de 7° , 23° , 38° , 53° e 68° (Figura 8). O sensor por sua vez é constituído de cinco fotodiodos, cujas superfícies ativas estão arranjadas em anéis concêntricos. A imagem desta visão é projetada dentro destes anéis, permitindo para cada intervalo angular, a medição da radiação na banda e no ângulo zenital conhecido.

Na prática, a fração de abertura em cinco ângulos zenitais pode ser obtida realizando-se uma medição de referencia externa ao dossel e uma ou mais leituras abaixo do dossel.

A razão entre as leituras obtidas abaixo do dossel e as obtidas fora do dossel, é usada para criar uma estimativa da fração de abertura nos cinco ângulos. Analiticamente é apresentada a Equação 2, como sugerida por WELLES (1990).

$$L = 2 \int_0^{\pi/2} -\ln(t(\theta)) \cos \theta \sin \theta d\theta \quad (2)$$

em que: $T(\theta)$ é a probabilidade da não interceptação da radiação difusa para um dado ângulo de visada (θ).

O LAI-2000 resolve a Equação (2) numericamente, desde que se tenha fixado cinco ângulos zenitais, processo este que permite a formação da Equação 3:

$$"LAI" = 2 \sum_{i=1}^5 k_i w_i \quad (3)$$

em que: $K_i = -\ln(T_i)/S_i$; T_i são as cinco frações de abertura; W_i equivale a $\sin\theta d\theta$ para cada um dos cinco ângulos de visada do LAI-2000; e $S_i = 1/\cos\theta$.

No experimento foram realizadas três leituras, compreendendo os meses de janeiro, março e junho de 2009, onde foram obtidas 10 leituras abaixo de cada planta, referentes aos cinco ângulos de abertura para os dois lados das plantas e, respectivamente, 10 leituras externas na altura da copa de cada planta.

Para evitar subestimativa nas medidas do IAF, buscou-se realizar medições em dias nublados ou nos períodos do dia em que o ângulo de elevação solar era menor (antes das 9 horas e depois das 16 horas), mantendo-se assim a condição de radiação difusa conforme recomendação do método LAI 2000.

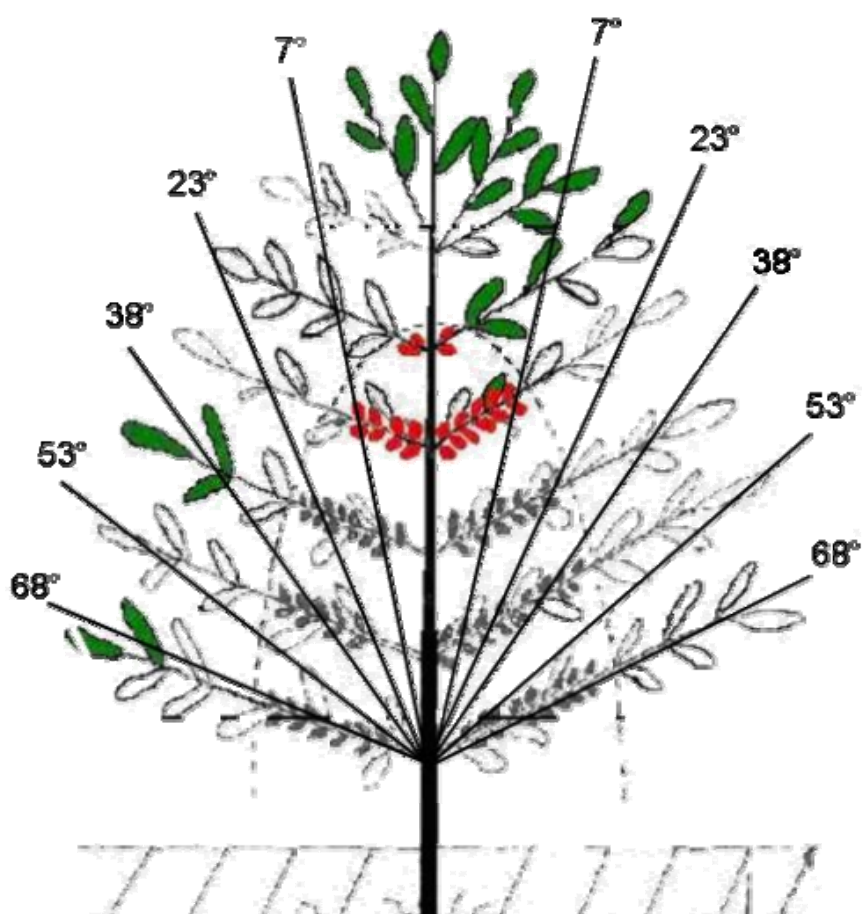


Figura 8. Ângulos de captação da radiação solar abaixo do dossel de uma planta de cafeeiro (Fonte: Adaptado de COSTA, 2006).

3.7.3 Produtividade da cultura

Para determinação da produtividade de frutos foi feita a coleta quando as plantas de cafeeiro apresentaram uma percentagem média de 10% de frutos ainda verdes, o que coincidiu com o mês de setembro de 2009 para as condições climáticas de Garanhuns. Logo após a coleta, o material foi submetido a uma pesagem, obtendo-se o peso em quilogramas de café cereja (café da roça) por parcela. Posteriormente procedeu-se a conversão para a produtividade (sacas de 60 kg ha⁻¹ de café beneficiado). Para realizar a conversão utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\text{Produtividade} = \frac{(\text{kg por planta} \times 0,2) \times n^{\circ} \text{ plantas por hectare}}{60 \text{ kg}} \quad (4)$$

em que se considera que 10 quilogramas de café da roça equivale a 2 quilogramas de café beneficiado, ou seja, um rendimento em peso de 20% (MENDES, 1994).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Parâmetros fitométricos

4.1.1 *Altura de planta*

O cafeeiro é uma planta de crescimento contínuo e que apresenta uma variação periódica, essa periodicidade está relacionada a épocas de seca prolongada, temperaturas fora da faixa de conforto, variação fotoperiódica, excesso de água, presença de nutrientes, entre outros fatores. A análise da parcela repetida com o tempo (Tabela 3 ANEXO A) que relaciona os efeitos dos tratamentos e do tempo no crescimento relativo do cafeeiro, demonstra pelo teste F que o fator responsável pela diferença no crescimento do cafeeiro observada na Figura 9 se deve unicamente ao tempo de avaliação, isso possivelmente ocorreu pelo fato do período avaliado no experimento coincidir com o final da fase fenológica chumbinho e expansão dos frutos e as fases de granação e maturação dos frutos, fases essas em que os frutos se tornam os principais drenos de metabólitos, limitando a mobilização de assimilados para o crescimento da parte vegetativa, como afirma Cannell e Huxley (1969). Para Carelli et al. (1989), a fase fenológica de granação mobiliza tantos nutrientes para o desenvolvimento dos frutos que chega a acarretar o esgotamento do cafeeiro, cujo resultado é a seca de ponteiros e a produção bienal.

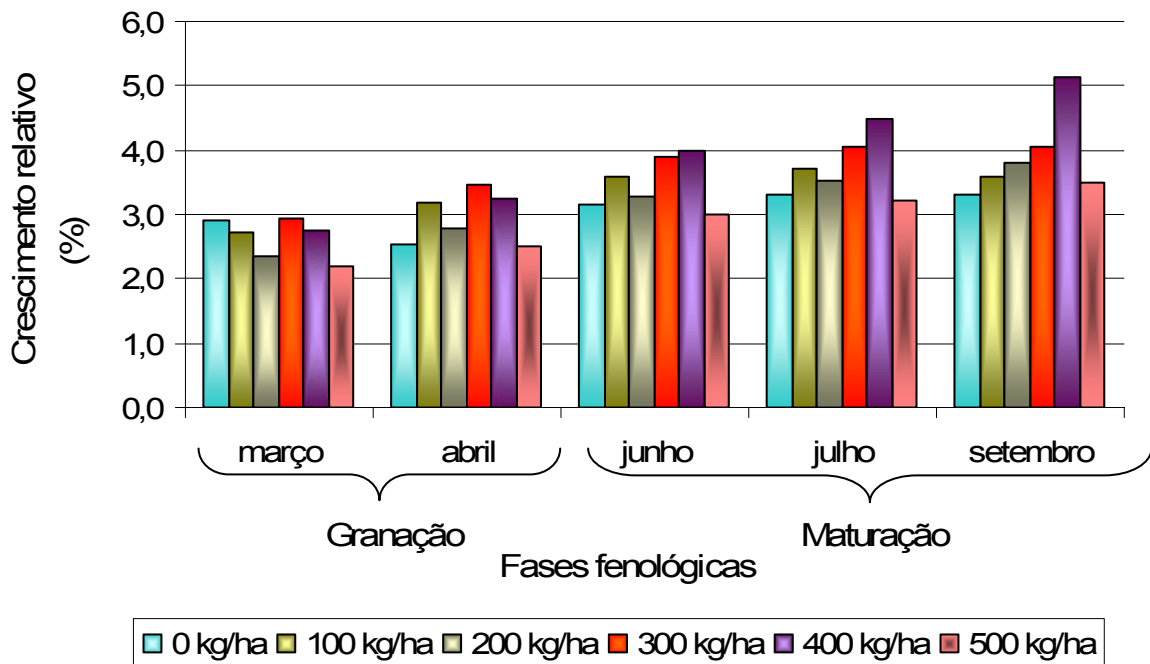


Figura 9. Efeito da adubação nitrogenada no crescimento relativo (%) do cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Catuai) para as fases fenológicas de granação e maturação, correspondentes ao período de março a setembro. Garanhuns – PE, 2009

4.1.2 Índice de área foliar

O crescimento das folhas é um parâmetro que segue o mesmo ritmo do crescimento dos ramos, portanto épocas que restringem o desenvolvimento dos ramos determinam uma redução no crescimento das folhas (ALFONSI, 2008). De acordo com a Tabela 4 (Anexo A) de análise de parcela repetida com o tempo, o teste F demonstra que o fator responsável pela variação no índice de área foliar constatado pela Figura 10 se deve unicamente ao transcorrer do tempo de avaliação e não aos tratamentos aplicados em estudo. O resultado da referida análise de variância possivelmente ocorreu devido às épocas de aplicação do adubo nitrogenado, pois estas coincidiram com os estádios fenológicos de expansão dos frutos e início da granação, épocas em que a planta disponibiliza fotoassimilados para o desenvolvimento dos frutos.

Apesar de não haver diferença significativa entre as doses de nitrogênio, pode-se observar que houve um comportamento semelhante do índice de área foliar para os tratamentos em estudo, sendo que esse índice variou de um valor

médio mínimo de 2,57 para a ausência de aplicação de nitrogênio (0 kg ha^{-1}) até um valor médio máximo de 5,67 para a dose de nitrogênio de 400 kg ha^{-1} . Trabalhos desenvolvidos por Valencia (1973) relacionando o índice de área foliar com o máximo rendimento do cafeeiro, demonstraram que o índice de área foliar igual a oito proporcionou o máximo rendimento da cultura em três anos de plantio para uma população de $10.000 \text{ plantas ha}^{-1}$, e, somente depois do quarto ano após plantio, quando a população era de $5.000 \text{ plantas ha}^{-1}$. Atualmente, apesar da importância da cafeicultura no cenário brasileiro, ainda são muito escassos os trabalhos de pesquisa sobre a variação temporal do índice de área foliar em culturas perenes.

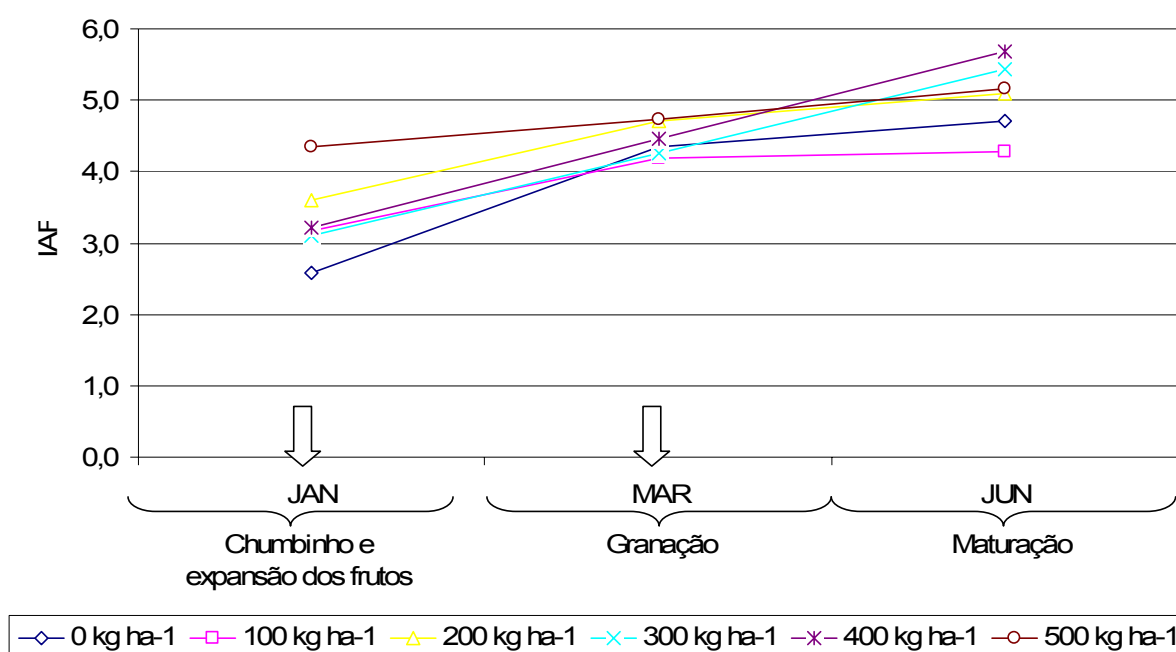


Figura 10. Variação do índice de área foliar no cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Catuai) para as fases fenológicas de Chumbinho e expansão dos frutos, granação e maturação, correspondentes ao período de janeiro a junho. Garanhuns – PE, 2009. As setas indicam as adubações

4.2 Produtividade de café

A análise de variância para a produtividade de café beneficiado (Tabela 5 ANEXO A) mostrou que as doses de nitrogênio aplicadas influenciaram significativamente essa variável ao nível de 5%, conforme o teste F.

A equação quadrática foi a que melhor se ajustou à produtividade de café beneficiado (Figura 11). O modelo explica aumentos significativos na produção com a aplicação de doses de N. Após atingir um ponto máximo, a produção decresce em resposta às doses mais elevada da fonte de N utilizada, indicando um possível desequilíbrio nutricional causado pela inibição não competitiva entre os íons NO_3^- , NH_4^+ e H_2BO_3^- (MALAVOLTA et al., 1997).

Com base na equação da Figura 11, estima-se a produtividade e a dose de nitrogênio responsável pela produtividade máxima e 90% da máxima. Para a produtividade os valores foram de 60 e 54 sacas por hectare de café beneficiado, respectivamente. Já para a dose de nitrogênio aplicada os resultados foram de 337,83 e 196,43 kg ha^{-1} , respectivamente. No índice de 90% da produção máxima, estima-se representar a máxima eficiência econômica (MALAVOLTA et al., 1997). A produtividade correspondente à máxima eficiência econômica (54 sacas por hectare de café beneficiado) superou a produtividade média pernambucana que se encontra atualmente em torno de 10 sacas por hectare de café beneficiado (REVISTA CAFEICULTURA, 2009).

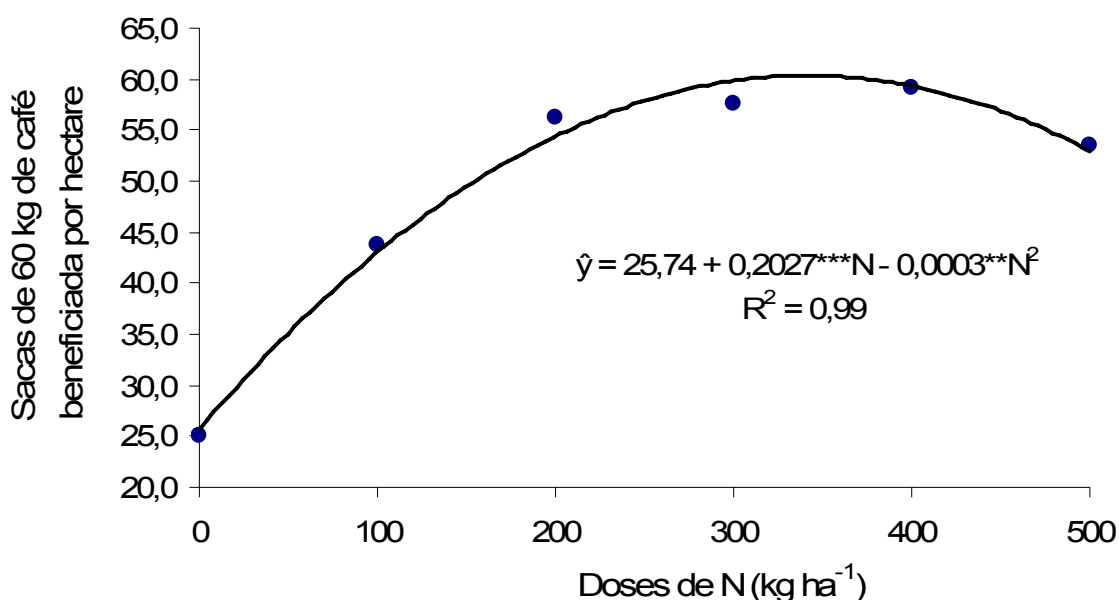


Figura 11. Análise de regressão da produtividade (sacas de 60 kg por hectare de café beneficiado) no cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Catuai) para os seis tratamentos (0, 100, 200, 300, 400 500 kg ha^{-1}). Garanhuns – PE, 2009

A dose de nitrogênio correspondente a 90% da máxima produção de grãos indica uma redução de 41,85% nas doses de nitrogênio para se atingir a produção máxima. Essa grande redução na dose da fonte é acompanhada de uma redução de apenas 10% da produção, representando, assim, uma considerável economia com a adubação nitrogenada e levando certamente a uma relação custo/benefício substancialmente menor.

O valor observado para dose recomendável de nitrogênio nas condições de Garanhuns (90% da produção máxima estimada) foi inferior à recomendação usual que é de 450 kg ha⁻¹ de nitrogênio por ano agrícola. Para Franco et al. (1960), em experimentos em São Paulo, foi demonstrado efeitos positivos até 360 kg ha⁻¹ de N.

Em experimentos de campo, geralmente não há viabilidade econômica quando se busca a produção máxima. Isso porque, de acordo com a “Lei dos incrementos decrescentes”, os incrementos crescentes de fertilizantes correspondem a aumentos decrescentes da produção, e a “colheita máxima econômica” situa-se sempre pouco abaixo da colheita máxima fisiológica (RAIJ, 1991; HOFFMANN et al., 1995).

4.3 Avaliação dos teores de nitrogênio e determinação das faixas críticas

As equações que relacionam o teor de nitrogênio nas folhas em cada fase fenológica de avaliação e as doses de nitrogênio aplicadas nos solos são apresentadas nas Figuras 12 e 13.

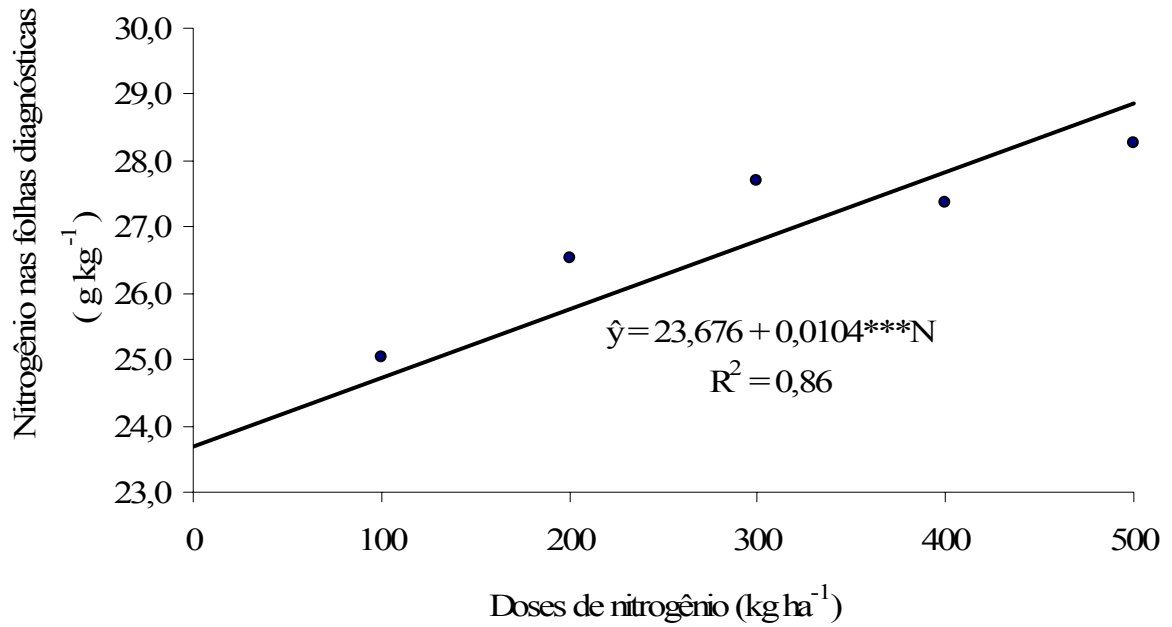


Figura 12. Teor de nitrogênio nas folhas diagnósticas do cafeeiro em função das doses de nitrogênio na fase fenológica de granação (março de 2009)

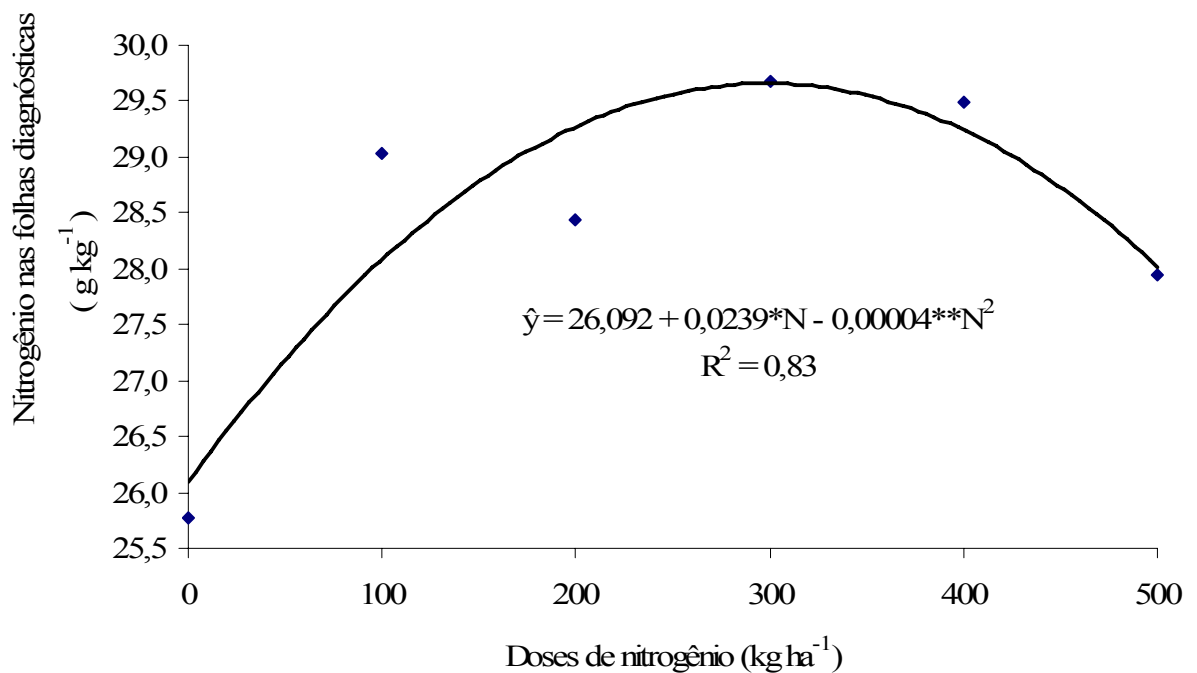


Figura 13. Teor de nitrogênio nas folhas diagnósticas do cafeeiro em função das doses de nitrogênio na fase fenológica de maturação (junho de 2009)

Com as doses de nitrogênio estimadas para a produção máxima e para 90% da produção máxima e substituindo-as nas equações que relacionam o teor de nitrogênio nas folhas com a dose de nitrogênio aplicado ao solo, estimaram-se as faixas críticas dos mesmos (Tabela 2). Inicialmente, no mês de março de 2009, fase fenológica de granação, logo após as aplicações dos tratamentos foi verificado um comportamento linear entre as doses de nitrogênio aplicadas no solo e os teores de nitrogênio encontrados nas folhas, esse comportamento possivelmente se deve a “fome” oculta no cafeeiro, que se caracteriza como a não manifestação visível de uma possível deficiência nutricional. Nesse mês, assim que o nutriente tornou-se disponível, a planta passou a absorvê-lo de forma a não manifestar os possíveis efeitos deletérios das maiores doses. Três meses após a aplicação dos tratamentos, em junho de 2009, o efeito entre as doses de nitrogênio aplicadas no solo e os teores de nitrogênio nas folhas foi quadrático, nesse mês, como as plantas já estavam supridas em nutrientes, as doses máximas passaram a expressar seu efeito negativo sobre a potencialidade produtiva do cafeeiro. Entre junho e setembro de 2009, não houve diferença estatística entre os teores de nitrogênio nas folhas e as doses de nitrogênio aplicadas no solo.

Tabela 2. Faixas críticas de nitrogênio nas folhas 90 e 100% da produção máxima estimadas para o cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Catuai) nas fases fenológicas de granação e maturação. Garanhuns-PE, 2009

Nutriente	Faixas críticas	
	90%	100%
		Granação (março)
N foliar (g kg ⁻¹)	25,72	27,19
		Maturação (junho)
N foliar (g kg ⁻¹)	29,24	29,60

Analisando-se a faixa crítica do nitrogênio nas folhas na fase fenológica de granação, correspondente ao mês de março de 2009, que é de 25,72 a 27,19 g kg⁻¹, verifica-se que ela está próxima a faixa crítica proposta por Mills e Jones Junior (1996) para o cafeeiro que é de 23 a 30 g kg⁻¹ e abaixo da faixa crítica estipulada por Malavolta et al (1997) que é de 29 a 32 g kg⁻¹. De acordo

com a faixa crítica do nitrogênio para essa fase, pode-se constatar que as plantas que se encontrarem nessa faixa estarão bem nutridas. Teores abaixo de $25,72 \text{ g kg}^{-1}$ podem indicar deficiência de N e acima de $27,19 \text{ g kg}^{-1}$, excesso.

Observa-se pela Tabela 2 que na fase fenológica de granação para o mês de junho de 2009, a faixa crítica para o nitrogênio nas folhas ($29,24$ a $29,60 \text{ g kg}^{-1}$) possuiu uma amplitude inferior ao mês de março. Essa faixa crítica se apresenta próxima da faixa crítica proposta por Malavolta (1993) que é de 27 a 32 g kg^{-1} . Gallo et al. (1971), constataram que aumentando o teor foliar de nitrogênio de $26,5 \text{ g kg}^{-1}$ para $30,0 \text{ g kg}^{-1}$, mediante doses de fertilizantes nitrogenados, a produção de café beneficiado aumentava em cerca de 50%.

4.4 Teor de nitrogênio nos frutos de café

A análise de variância (Tabela 6 ANEXO A) demonstrou que as doses de nitrogênio aplicadas influenciaram essa variável segundo o teste F.

De acordo com a Figura 14 pode-se observar um comportamento quadrático entre o nitrogênio no fruto e as doses de nitrogênio aplicadas no solo. Esse modelo demonstra um aumento no teor de nitrogênio nos frutos de até $18,60 \text{ g kg}^{-1}$ de matéria seca quando a dose de nitrogênio no solo foi de $359,30 \text{ kg ha}^{-1}$. Segundo esse modelo, doses acima de $359,30 \text{ kg ha}^{-1}$ influenciou negativamente a taxa de transferência de fotoassimilados aos frutos, o que explica uma baixa na produtividade verificada a partir dessa dose conforme constatado pela Figura 11.

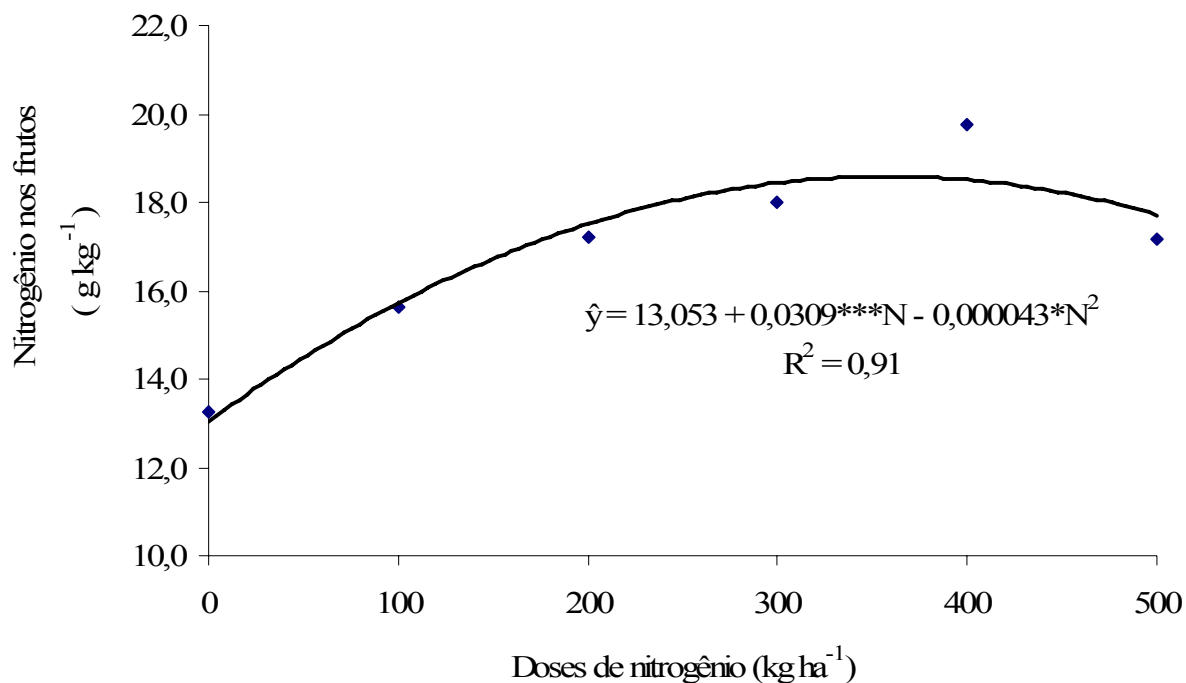


Figura 14. Teor de nitrogênio nos frutos (g kg⁻¹) do cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Catuaí) em função das doses de nitrogênio no mês de setembro, fase fenológica de maturação. Garanhuns – PE, 2009.

4.5 Remoção de nitrogênio pelos frutos

A maior remoção de nitrogênio pelos frutos do cafeeiro nas condições de Garanhuns foi observada na dose de 328,62 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicado ao solo, o que corresponde a uma remoção de nitrogênio de 204,31 kg ha⁻¹.

A remoção de nitrogênio nos grãos, para a dose de 328,62 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicado no solo, para produzir uma tonelada de café beneficiado, no presente trabalho foi de 56,79 kg de nitrogênio, diferente do resultado obtido por Malavolta et al. (1963), para uma tonelada de café beneficiado que foi de 16,6 kg de nitrogênio.

5 CONCLUSÕES

As variações nos parâmetros fitométricos do *Coffea arabica* L. var. Catuaí, altura e índice de área foliar, não foram explicados pelas doses de nitrogênios ao qual foram submetidos e sim pelo tempo de análise.

A produtividade do cafeeiro com relação as doses de nitrogênio aplicados se adequou ao modelo quadrático, tendo a dose de 196,43 kg ha⁻¹ proporcionado a máxima eficiência econômica, com a produtividade de 54 sacas ha⁻¹ de café beneficiado, o que representou uma redução de 41,85% em adubação nitrogenada.

A faixa crítica do nitrogênio variou da fase fenológica de granação para a fase fenológica de maturação, tendo os respectivos valores, 25,72 a 27,19 g kg⁻¹ e 29,24 a 29,60 g kg⁻¹.

A dose de nitrogênio aplicado ao solo que proporcionou a maior remoção desse elemento pelos frutos foi a de 328,62 kg ha⁻¹, onde se constatou que em um hectare foi retirado pela produção 204,31 quilogramas de nitrogênio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABIC. **A história do café: origem e trajetória**. Disponível em: < http://www.abic.com.br/scafe_historia.html > Acesso em 06 de maio de 2005.

ALFONSI, E. L. **Uso de índices fenológicos em modelos de previsão de produtividade do cafeeiro**. São Paulo, 2008. 105 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008.

ALFONSI, R.R. Histórico climatológico da cafeicultura brasileira. **Informativo Garcafé**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008, p. 7-11.

ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

ANDRÉ, M. **Observations sur L' orthotropisme et lê plagiotropisme des rameaux chez Coffea arábica L**. Café Cacao Thé, Paris, v. 27, n. 2, p. 125 – 128, abr./jui. 1973.

BALDOCK, J. O.; SCHULTE, E. E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, n. 3, p. 448-456, 1996.

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

BARROS, R.S.; MAESTRI, M. **Periodicidade de crescimento em café**. Revista Ceres, Viçosa, v. 19, n. 106, p. 429-448, 1972.

BORIN, J. **Introdução ao estudo do café**. São Paulo: Guarany, 1971. 144p.

CALBO, A.G. Senescência em folhas e migração de solutos. In: SODEK, L.; CASTRO, P.R.C.; NEVES, M. C. P. REUNIÃO BRASILEIRA DE FISILOGIA VEGETAL, 2., 1989, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 1989. p. 123-134.

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

CANNELL, M.G.R. Production and distribution of dry matter in trees of *Coffea Arabica* L. in Kenya as affected by seasonal climatic differences and the presence of fruits. **Annals of Applied Biology**, London, v. 67, n. 1, p. 99-120, 1971.

CANNELL, M.G.R.; HUXLEY, P.A. Seasonal differences in the pattern of assimilate movement in branches of *Coffea Arabica* L. **Annals of Applied Biology**, London, v. 64, n. 2, p. 345-357, 1969.

CARELLI, M.L.C. et al. Trocas gasosas fotossintéticas e densidade de fluxo de seiva em plantas de *Coffea arábica* cv. Obatã cultivadas em diversos regimes de irradiância. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 8, 2001. Viçosa. **Anais**. Viçosa: Agromídia, 2001. 1 CD-ROM.

CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I.; MAGALHÃES, A.C. Assimilação de nitrato durante o desenvolvimento reprodutivo de plantas de café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 59-64, 1989.

CARR, M.K.V. The water relations and irrigation requirements of coffee. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 37, n. 1, p. 1-36, 2001.

CARVAJAL, J.F. **Cafeto**: cultivo y fertilización. Berna: Instituto Internacional de La Potasa, 1984, 254 p.

CATANI, R.A.; MORAIES, F.R.P.A. A composição química do cafeeiro. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.1, n. 33, p.45-57, 1958.

CATANI, R.A. et al. Variação na concentração e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto do cafeeiro, durante o seu desenvolvimento. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 24, p. 249-263, 1967.

CERVELLINI, G.S. et al. Nitrogênio na adubação química do cafeeiro: doses e parcelamento do Nitrocálcio. **Bragantia**, Campinas, v. 45, n.1, p. 45-55, 1986.

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)**. Piracicaba, 1982. 131f. Dissertação (Mestrado em fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

CONAB. **Cafés do Brasil**, 2006. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br> > Acesso em 10 de outubro de 2006.

CONSELHO NACIONAL DO CAFÉ. **Características agronômicas**. Disponível em: < <http://www.cncafe.com.br> > Acesso em 14 de dezembro de 2008.

CONSELHO NACIONAL DO CAFÉ. **Café no mundo**. Disponível em: < <http://www.cncafe.com.br/conteudo.asp?id=10> > Acesso em 20 de novembro de 2009.

COSTA, F.M.P. **Crescimento e desenvolvimento do cafeeiro sob efeito da adubação nitrogenada**. Piracicaba, 2006. 81f. Tese (Doutorado em fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

COSTA, S.N.da et al. Mobilidade do nitrato em colunas de solo sob condições de escoamento não permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 190-194, 1999.

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

DAMATTA, F.M.; RENA, A.B. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte e tecnologia na produção de café**. Viçosa: UFV, 2002, p. 93-135.

EMBRAPA. **O agronegócio café no Brasil e no mundo**. Brasília, DF. 2004. Disponível em: < <http://www.cenargen.embrapa.br/biotec/genomacafe/historico.html> > Acesso em: 06 de maio de 2005.

EVANOFF, C. E. A. **Biologia del cafe**. Caracas: Ed. Universidad Central de Venezuela, 1994. 308p.

FAHL, J.I. et al. Efeito das condições climáticas sobre a bienalidade da produtividade do café arábica na região de Mococa-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12, 2001, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. v. 1, p. 155-156.

FAVARIN, J.L. et al. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, D.F., v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.

FAZUOLI, L.C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A.B. et al (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 87-106.

FENILLI, T.A.B. **Destino do nitrogênio (¹⁵N) do fertilizante em uma cultura de café**. Piracicaba, 2006. 116f. Tese (Doutorado em energia nuclear na agricultura). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

FERREIRA, J.M.L. **Indicadores de qualidade do solo e da sustentabilidade em cafeeiros arborizados**. Florianópolis, 2005. 90f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

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

FRANCO, C.M. et al. Manutenção de cafezal com adubação exclusivamente mineral. **Bragantia**, Campinas, v. 19, n. 33, p. 523-546, 1960.

FRENEY, J.R.; SIMPSON, J.R.; DENMEAD, O.T. Volatilization of ammonia. In: FRENEY, J.R.; SIMPSON, J.R. (Ed.). **Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems**. The Hague: Martinus Nijhoff; Dr. W. Junk, 1983. p. 1-32.

GALLO, J.R. et al. Teores de nitrogênio em folhas de cafeeiro, em relação à adubação química. I. Latossolo Roxo transição para Latossolo Vermelho-Amarelo orto. **Bragantia**, Campinas, v. 30, n. 17, p. 169-177, 1971.

GALLO, J.R. et al. Levantamento de cafezais do Estado de São Paulo pela análise química foliar. **Bragantia**, Campinas, v. 29, n. 22, p. 237-247, 1970.

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

GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G.; SOUZA, C.A.A. **Cafeicultura**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 317p.

HIROCE, R. Diagnose foliar em cafeeiro. In: MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN J. A. (Ed.). **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato (EUA); Instituto Internacional da Potassa (SUIÇA). 1981. p. 117-137.

HOFFMANN, C.R. et al. O nitrogênio e o fósforo no crescimento da braquiária e do colômbio em amostras de um latossolo da região Noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 79-86, jan./mar 1995.

INGESTAD, T.; AGREN, G.I. Plant nutrition and growth: basic principles. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 168/169, n. 1, p. 15-20, 1995.

KIEHL, J.C. **Nitrogênio: Dinâmica e disponibilidade no solo**. In: Curso de Atualização em Fertilidade do Solo. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 139-157.

KOBAYASHI, E.S. **Consumo de água e produtividade de cafeeiros arábica na região de Mococa, SP**. Campinas, 2007. 77f. Dissertação (Mestrado em Agricultura tropical e subtropical). Instituto Agrônômico, Campinas.

LAZZARINI, W.; MORAES, F. R. P. de. Ensaio qualitativo, quantitativo, e de fracionamento de nitrogênio. In: LAZZARINI, W. et al. **Experimentação cafeeira 1929-1963**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1967, p. 178-183.

LI-COR. **LAI-2000 plant canopy analyzer: manual**. Negraska, 1992. 166p.

LOPES, A.S. **Manual Internacional de fertilidade do solo**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177p.

LUCENA, J. J. Methods of diagnosis of mineral nutrition of plants: a critical review. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 448, n. 1, p. 179-192, 1997.

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

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

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

MALAVOLTA, E. et al. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, D.F., v. 37, n. 7, p. 1017-1022, 2002.

MALAVOLTA, E. et al. **Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro**. XI. Extração de macro e micronutrientes na colheita pelas variedades “Bourbon Amarelo, Caturra Amarelo e “Mundo Novo”. Turrialba, 1963, v. 13, n. 3, p. 188–189.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. e OLIVEIRA, S.A., **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997, 319p.

MARTHA JÚNIOR, G.B. **Produção de forragem e transformação do nitrogênio do fertilizante em pastagem irrigada de capim Tanzânia**. Piracicaba, 2003. f149. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MARTIELLO, J.B. et al. **Cultura do café no Brasil**: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002. 387 p.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. (Ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 1999. p. 143-168.

MATIELLI, A.; RUGGIERO, S.S.; **Agronegócio Café: histórico e tendências**. Disponível em: < <http://temas.buscaki.com.br/agronegocios/003.htm> >. Acesso em 06 de maio de 2005.

MATIELLO, J.B. **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320p.

MATTIELLO, J.B. et al. Parcelamento da adubação NPK pós-colheita. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 10., 1983, Poços de Caldas. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1983. p. 23-24.

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

MEIRELES, E.J.L. et al. **Fenologia do cafeeiro: condições agrometeorológicas e balanço hídrico – ano agrícola 2002-2003**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2004. 43p. (Documentos, 2).

MENDES, A. N. G. **Avaliação de metodologias empregadas na seleção de progênies do cafeeiro (Coffea arabica L.) no estado de Minas Gerais**. Lavras, 1994. 167 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1994.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. London: Kluwer Academic, 2001. 849p.

MIGUEL, A.E. et al. Doses e parcelamento de adubação nitrogenada e potássica para a formação e produção do cafeeiro em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 10., Poços de Caldas, 1983. **Anais**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1983a. p. 352-355.

MIGUEL, A.E.; GARCIA, A.W.R.; CORREA, J.B. & FIORAVANTE, N. Efeito de 3 níveis de adubação N e K em cafeeiros Mundo Novo, Catuaí e Catimor, plantados em 2 densidades de plantio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 10., 1983, Poços de Caldas. **Anais**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1983b. p. 289-291.

MILLS, H. A.; JONES JUNIOR, J. B. **Plant analysis handbook II**. 2. ed. Athens: Micro-Macro, 1996. 422 p.

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. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRAS, 6, 1978, Ribeirão Preto. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1987. p. 76-77.

MUCHOVEJ, R.M.C.; RECHEIGL, J.E. Impacts of nitrogen fertilization of pastures and turfgrasses on water quality. In: LAL, R.; STEWART, B. A. (Ed.) **Soil processes and water quality**, Boca Raton: Lewis Publication, 1994. p. 91-135.

NABINGER, C. Princípios da exploração intensiva de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, v. 13, 1996, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 15-95.

NEHMI, I. M. D. et al. **Agrianual 2001**. São Paulo: Oeste Gráfica, 2000. 544p.

OLIVEIRA, F.C. Percolação de nitrato em Latossolo Amarelo Distrófico afetada pela aplicação de composto de lixo urbano e adubação mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.731-741, 2001.

OLIVEIRA, J.R.A.; VILELA, L.; ANGELAYARZA, M. Adsorção de nitrato em solos de cerrado do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, D.F., v. 35, n. 6, p. 1199-1205, 2000.

PEOPLES, M.B. et al. Pathways of nitrogen loss and their impacts on human health and the environment. In: MOSIER, A.; SYERS, J.K.; FRENEY, J.R. (Ed.). **Agriculture and the nitrogen cycle: assessing the impacts of fertilizer use on food production and the environment**. Washington: Island Press, 2004. p. 53-69.

PEZZOPANE, J.R.M. et al. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 499-505, 2003.

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

PREZOTTI, L. C. Fertilização do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, Laércio. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, 2001. cap. 16, p. 607 – 615.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

RAIJ, B. V. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAMAIAH, P.K.; GOPAL, N.H. Effects of temperature and light on arábica coffee. **Indian Coffee**, Bangalore, v. 33, n. 8, p. 254-259, 263, 1969.

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.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade do cafeeiro. Piracicaba: POTAFÓS, 1986. p. 1-85.

RENA, A.B.; PEREIRA, A. A.; BARTHOLO, G.F.; Teor foliar de minerais, conteúdo caulinar de amido e o depauperamento de algumas progênies de cafés resistentes à ferrugem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRA, 10, 1983, Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1983. p. 169-170.

REUTER, D. J.; ROBINSON, J. B. **Plant analysis**: an interpretation manual. Melbourne: Inkata, 1988. 218 p.

REVISTA CAFEICULTURA. **IPA estimula o agronegócio do café em Pernambuco.** Disponível em: <
<http://www23.sede.embrapa.br:8080/aplic/cafenews.nsf/f66e4ae353d4b87e03256b1700494349/6b1c9cb54ae1ee7603256be5006b450c?OpenDocument> >. Acesso em: 30 de setembro de 2009.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. (Ed.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

SANGOI, L. et al. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com textura contrastantes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 65-70, 2003.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A.L.T. **Cultivo do cafeeiro irrigado em plantio circular sob pivô central**. Belo Horizonte: Editora O Lutador, 2002. 251p.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A.L.T.; FERNANDES, D.R. Manejo do cafeeiro irrigado. In: **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Arbore, 1996. cap. 7, 146p.

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

SILVA, M.L.O. et al. Crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002, Araguari. **ANAIS...** Uberlândia: UFU, 2002. p. 20-23.

SILVA, M.S. et al. Avaliação das perdas de nitrato em solo irrigado e submetido à diferentes intensidades de radiação solar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 82-88, 1999.

SILVA, O.A. et al. Parcelamento fracionado do nitrogênio na adubação do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 11., 1984. Londrina. **Resumos...** Rio de Janeiro: Ministério da Indústria e comércio. IBC, 1984. p. 287-289.

SMITH, F. W. Interpretation of plant analysis: concepts and principles. In: REUTER, D. J.; ROBSON, J. B. (Ed.). **Plant analysis: an interpretation manual**. Melbourne, Inkata, 1988. p. 1-12.

TERMAN, G.L. Volatilization of nitrogen as ammonia from surface applied fertilizers. Organic amendments and crop residues. **Advances in Agronomy**, Nova York, v. 31, p. 189-223, 1979.

THOMAZIELLO, R.A. et al. **Café arábica: Cultura e técnicas de produção.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2000. p. 2-6. (Boletim técnico, 187).

TRIVELIN, P.C.O.; LARA CABEZAS, W.A.R; BOARETTO, A.E. Dinâmica do nitrogênio de fertilizantes fluidos no sistema solo-planta. In: VITTI, G.C.; BOARETTO, A.E. (Ed.). **Fertilizantes Fluídos.** Piracicaba: Potafós, 1994. p. 314-330.

VALENCIA, G. A. Relación entre el índice de area foliar y la productividad del cafeto. **Cenicafe**, Caldas, v. 24, n. 4, p. 79-89, 1973.

VALNIR JUNIOR, M. **Análise de componentes do balanço hídrico em cultura de caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp), sob condições de recarga natural.** 2000. 52f Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2000.

VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E. **Doses e parcelamento de adubação nitrogenada e potássica para formação e produção do cafeeiro, em solo de cerrado - II.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 14., 1987, Campinas. **Resumos...** Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1977. p. 249-252.

WELLES, J.M. Some indirect methods of estimating canopy structure. In: GOEL, N.S.; NORMAN, J.M. **Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions.** London: Harwood Academy, 1990. cap. 5, p. 31-43.

ANEXOS

ANEXO A – Tabelas de análise de variância

Tabela 3. Análise de variância dos efeitos de dose de adubação nitrogenada (Kg ha^{-1}) e das épocas de avaliação para o crescimento relativo (%) do cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Catuaí). Dados transformados em $\sqrt{X+1}$. Garanhuns – PE, 2009

Causas de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F
Doses de adubação nitrogenada	5	13,7562733	2,75125465	2,61ns
Resíduo (a)	17	17,940725	1,05533676	
Tempo	4	26,6467693	6,66169232	37,91***
Interação (DAN x tempo)	20	4,22445754	0,21122288	1,2ns
Resíduo (b)	68	11,9498833	0,17573358	
Total	114	74,5181084		
C.V. (a)	29,68			
C.V. (b)	12,11			

ns - Não significativo pelo teste de F.

*** - Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade, pelo teste de F.

Tabela 4. Análise de variância dos efeitos de dose de adubação nitrogenada (kg ha^{-1}) e das épocas de avaliação para o índice de área foliar do cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Catuaí). Garanhuns – PE, 2009

Causas de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F
Doses de adubação nitrogenada	5	7,49615896	1,49923179	1,83ns
Resíduo (a)	18	14,7090816	0,8171712	
Tempo	2	37,0855323	18,5427661	29,89***
Interação (DAN x tempo)	10	5,81757542	0,58175754	0,94ns
Resíduo (b)	36	22,3331157	0,62036432	
Total	71	87,4414639		
C.V. (a)	21,11			
C.V. (b)	18,39			

ns - Não significativo pelo teste de F.

*** - Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade, pelo teste de F.

Tabela 5. Análise de variância dos efeitos de seis dose de adubação nitrogenada (Kg ha^{-1}) na produtividade (Sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare) do cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Catuaí). Garanhuns – PE, 2009

Causas de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F
Doses de adubação nitrogenada	5	22,6501036	4,53002073	3,33*
Erro	17	23,0916906	1,35833474	
Total	22	45,7417943		
C.V. (%)	16,88			

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F.

Tabela 6. Análise de variância dos efeitos de seis dose de adubação nitrogenada (em Kg de N ha^{-1}) na absorção do nitrogênio pelo fruto (g kg^{-1}) do cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Catuaí). Garanhuns – PE, 2009

Causas de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F
Doses de adubação nitrogenada	5	97,3405394	19,4681079	4,6**
Erro	18	76,1067652	4,2281536	
Total	23	173,447305	-	
C.V. (%)	12,22			

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste de F.