



PEDRO MENICUCCI NETTO

**NÍVEIS DE ADUBAÇÃO NO CRESCIMENTO, ÍNDICE DE
VEGETAÇÃO, ANATOMIA E FISIOLOGIA DE CAFEZEIROS
EM FORMAÇÃO**

**LAVRAS-MG
2021**

PEDRO MENICUCCI NETTO

**NÍVEIS DE ADUBAÇÃO NO CRESCIMENTO, ÍNDICE DE VEGETAÇÃO,
ANATOMIA E FISIOLOGIA DE CAFEEIROS EM FORMAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Élberis Pereira Botrel
Orientador

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
Coorientador

**LAVRAS-MG
2021**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Netto, Pedro Menicucci.

Níveis de adubação no crescimento, índice de vegetação,
anatomia e fisiologia de cafeeiros em formação / Pedro Menicucci
Netto. - 2021.

81 p. : il.

Orientador(a): Élberis Pereira Botrel.

Coorientador(a): Rubens José Guimarães.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. *Coffea arabica* L. 2. Nutrição mineral. 3. NDVI. I. Botrel,
Élberis Pereira. II. Guimarães, Rubens José. III. Título.

PEDRO MENICUCCI NETTO

**NÍVEIS DE ADUBAÇÃO NO CRESCIMENTO, ÍNDICE DE VEGETAÇÃO,
ANATOMIA E FISIOLOGIA DE CAFEEIROS EM FORMAÇÃO**

**FERTILIZATION LEVELS IN GROWTH, VEGETATIVE INDEX, ANATOMY AND
PHYSIOLOGY OF COFFEE CROP IN VEGETATIVE STAGE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 23 de novembro de 2020.

Dra. Danielle Pereira Baliza IFSUDESTE/MG

Dra. Milene Alves de Figueiredo EMBRAPA

Prof. Dr. Élberis Pereira Botrel
Orientador

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
Coorientador

**LAVRAS-MG
2021**

*Aos meus pais Klinger e Rita,
que nunca mediram esforços para me
ajudar a alcançar meus sonhos.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder saúde e forças para vencer mais um desafio.

Aos meus pais, irmãos, avós e a toda a minha família, pela amizade, sabedoria, apoio, ensinamentos, carinho e exemplo de vida nesta caminhada.

À Daiane, pelo amor, companheirismo e apoio. De forma especial, nesse trabalho, por toda a sua ajuda nas avaliações do projeto.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), especialmente, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela estrutura concedida para concretização desse trabalho e a oportunidade de adquirir e ampliar meus conhecimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão da bolsa de mestrado. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao professor Dr. Élberis Pereira Botrel pela orientação, colaboração, confiança e principalmente pelos ensinamentos que contribuíram para minha formação.

Ao professor Dr. Rubens José Guimarães pela coorientação, ensinamentos e colaboração.

A todos os membros do Grupo de Estudos em Herbicida, Plantas Daninhas e Alelopatia (GHPD) e Núcleo de Estudos em Cafeicultura (NECAF) que contribuíram na condução desse experimento. Em especial, ao Ademilson Alecrim, Giovani Belutti e Marina Scalioni, por todo o apoio e companheirismo em minha trajetória acadêmica.

Aos funcionários do Setor de Cafeicultura, Alexandre, Felipe, Mateus e Mauro, por toda a ajuda e prontidão para auxiliar na condução do experimento.

Aos amigos e amigas pela amizade, companheirismo, convivência e incentivo.

A todos que de alguma forma contribuíram para a construção deste trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO

A produção de café é de grande importância para o agronegócio, sendo o Brasil o maior produtor e exportador mundial dessa *commodity*. Dentre os manejos considerados primordiais para o aumento na produtividade, destaca-se o fornecimento racional de nutrientes na implantação da lavoura. Assim, objetivou-se nesse estudo, avaliar o crescimento vegetativo, a anatomia e a fisiologia das plantas de cafeeiro em formação, em função dos diferentes níveis de adubação, buscando correlação com o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). O experimento foi implantado em dezembro de 2018 e conduzido na Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras - MG, no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com seis níveis de adubação (10, 40, 70, 100, 130 e 160% da dose padrão recomendada), com quatro repetições. Entre os meses de abril de 2019 a março de 2020 foram avaliados o crescimento vegetativo das plantas, características fisiológicas, anatomia foliar e correlações com o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). O NDVI correlaciona-se com a altura do cafeeiro e mostra-se eficiente na avaliação no comportamento do cafeeiro frente as variáveis climatológicas. A adubação com 100% da dose recomendada é a mais segura para a implantação de lavouras sem irrigação, correspondendo 80 g de P_2O_5 por muda na cova de plantio, 20 g de K_2O por planta em um ano e 5 g de N por planta em cada aplicação, na ocasião do plantio e no primeiro ano após a implantação, 10 g de K_2O por planta em um ano e 10 g de N por planta em cada aplicação (para níveis de fósforo e potássio semelhantes aos da área experimental). Os diferentes níveis de adubação com N, P e K na formação do cafeeiro também alteram os índices de clorofila e anatomia foliar.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Nutrição mineral. Macronutrientes. NDVI.

ABSTRACT

Coffee production is of great importance for agribusiness, with Brazil being the world's largest producer and exporter of this commodity. Among the managements considered primordial to increase productivity, the rational supply of nutrients in the implementation of the crop stands out. Thus, the objective of this study was to evaluate the vegetative growth, anatomy and physiology of coffee plants in formation, at different levels of fertilization, seeking correlation with the normalized difference vegetation index (NDVI). The experiment was implemented and conducted at the Federal University of Lavras (UFLA), in Lavras - MG, in the Coffee Growing Sector of the Department of Agriculture. The randomized block design (DBC) was used, with six levels of fertilization (10, 40, 70, 100, 130 and 160% of the recommended standard dose), with four repetitions. Between April 2019 and March 2020, plant vegetative growth, physiological characteristics, leaf anatomy and correlations with the normalized difference vegetation index (NDVI). Fertilization with 100% of the recommended fertilization is the safest for the implantation of crops without irrigation, corresponding 80 g of P_2O_5 per seedling in the planting pit, 20 g of K_2O per plant in one year and 5 g of N per plant in each application, at the time of planting and in the first year after implantation, 10 g of K_2O per plant in one year and 10 g of N per plant in each application (for phosphorus and potassium levels similar to those of the experimental area). The different levels of fertilization with N, P and K in coffee formation also alter chlorophyll and leaf anatomy indexes.

Keywords: *Coffea arabica* L. Mineral nutrition. Macronutrients. NDVI.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Série temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente ao período de abril de 2019 a março de 2020. Lavras - MG, 2020..... 39
- Figura 2 - Representação gráfica das variáveis meteorológicas registradas, mensalmente, em Lavras - MG, no período dezembro 2018 a março de 2020. Lavras - MG, 2020. ...
..... 40
- Figura 3 - Dispersão gráfica em relação ao primeiro (CP1) e segundo componente (CP2) com base na altura (ALT), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF), números de ramos plagiotrópicos (NP), comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (CP), número de nós do primeiro ramo plagiotrópico (NNP) e número de folhas no primeiro ramo plagiotrópico (NNF) em abril de 2019 (A), julho de 2019 (B), outubro de 2019 (C) e fevereiro de 2020 (E), diâmetro de caule em outubro em 2019 (D) e comprimento do primeiro ramo plagiotrópico em fevereiro (F) de cafeeiros em fase de formação. Lavras - MG, 2020..... 43
- Figura 4 - Índice de clorofila a (A), clorofila b (B) e clorofila total (C) de cafeeiros com diferentes níveis de adubação com N, P e K em fase de formação em julho de 2019. Lavras - MG, 2020. 45
- Figura 5 - Dispersão gráfica em relação ao primeiro (CP1) e segundo componente (CP2) com base na condutância estomática (gs), clorofila a (ClA), clorofila b (ClB), clorofila total (ClT) e potencial hídrico foliar (PH) de cafeeiros com diferentes níveis de adubação com N, P e K em fase de formação em abril (A), julho (B) e outubro de 2019 (C) e fevereiro de 2020 (D). Lavras - MG, 2020. 46
- Figura 6 - Relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) (A), diâmetro polar dos estômatos (B) em agosto de 2019 e relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) (C) em fevereiro de 2020 de cafeeiros com diferentes níveis de adubação com N, P e K em fase de formação. Lavras - MG, 2020..... 48
- Figura 7 - Dispersão gráfica em relação ao primeiro (CP1) e segundo componente (CP2) com base no número de estômatos (NE), diâmetro polar dos estômatos (DP), diâmetro equatorial dos estômatos (DE), densidade estomática (DEN) e relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) de cafeeiros com diferentes níveis de adubação com N, P e K em fase de formação em agosto de 2019 (A) e fevereiro de 2020 (B). Lavras - MG, 2020..... 49

- Figura 8 - Dispersão gráfica em relação ao primeiro (CP1) e segundo componente (CP2) com base no número de vasos do xilema (NVX), área do floema (AF), área do xilema (AX), frequência de vasos do xilema (FVX) e diâmetro dos vasos do xilema (DVX) de cafeeiros com diferentes níveis de adubação com N, P e K em fase de formação em agosto de 2019 (A) e fevereiro de 2020 (B). Lavras - MG, 2020.....50
- Figura 9 - Espessura da epiderme abaxial (EAB) em agosto de 2019 (A) em fevereiro de 2020 (B) de cafeeiros com diferentes níveis de adubação com N, P e K em fase de formação. Lavras - MG, 2020.51
- Figura 10 - Dispersão gráfica em relação ao primeiro (CP1) e segundo componente (CP2) com base na espessura da cutícula (CUT), espessura da epiderme adaxial (EAD), espessura do parênquima paliçádico (PPA), espessura do parênquima esponjoso (PES) e espessura do mesofilo (MES) e espessura da epiderme abaxial (EAB) de cafeeiros com diferentes níveis de adubação com N, P e K em fase de formação em agosto de 2019 (A) e fevereiro de 2020 (B). Lavras - MG, 2020.52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Caracterização química nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e análise física do solo* da área experimental antes da implantação do experimento. Lavras – MG, 2020.....	31
Tabela 2 -	Descrição das doses de NPK empregadas em cada parcela experimental no ano agrícola 2018/2019. Lavras – MG, 2020.....	33
Tabela 3 -	Caracterização química do solo da área experimental (0-20 cm)* antes da reaplicação dos tratamentos no ano de 2019. Lavras - MG, 2020.	33
Tabela 4 -	Descrição das doses de NPK empregadas em cada parcela experimental no ano agrícola 2019/2020. Lavras - MG, 2020.	34
Tabela 5 -	Coeficiente de correlação de Pearson para altura e sua relação com o NDVI. Lavras - MG, 2020.	53
Tabela 6 -	Coeficiente de correlação de Pearson para número de folhas e sua relação com o NDVI. Lavras - MG, 2020.	53
Tabela 7 -	Coeficiente de correlação de Pearson para clorofila total (CIT) e sua relação com o NDVI. Lavras - MG, 2020.	53

APÊNDICE A

Tabela 1 -	Resumo da análise de variância, para a variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente aos meses de abril, maio e junho de 2019, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.....	76
Tabela 2 -	Resumo da análise de variância, para a variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente aos meses de julho e agosto de 2019, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.	76
Tabela 3 -	Resumo da análise de variância, para a variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente aos meses de setembro, outubro e novembro de 2019, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.	76
Tabela 4 -	Resumo da análise de variância, para a variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente aos meses de novembro e dezembro de 2019 e janeiro de 2020, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.....	77

Tabela 5 -	Resumo da análise de variância, para a variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente aos meses de janeiro, fevereiro e março de 2020, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.	77
Tabela 6 -	Resumo da análise de variância, para as variáveis altura (cm), diâmetro (mm), número de folhas e número de plagiotrópicos do mês de abril de 2019 em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.....	77
Tabela 7 -	Resumo da análise de variância, para as variáveis altura (cm), diâmetro (mm) e número de folhas no mês de julho de 2019 em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.	78
Tabela 8 -	Resumo da análise de variância, para as variáveis altura (cm), diâmetro (mm) e número de folhas no mês de outubro de 2019 em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020....	78
Tabela 9 -	Resumo da análise de variância, para as variáveis altura (cm), diâmetro (mm) e número de folhas no mês de fevereiro de 2020 em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.	78
Tabela 10 -	Resumo da análise de variância, para as variáveis condutância estomática (gs), potencial hídrico foliar (PH), clorofila a (CIA), clorofila B (CIB) e clorofila total (CIT) referente ao mês de abril de 2019, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020....	78
Tabela 11 -	Resumo da análise de variância, para as variáveis condutância estomática (gs), potencial hídrico foliar (PH), clorofila a (CIA), clorofila B (CIB) e clorofila total (CIT) referente ao mês de julho de 2019, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020....	79
Tabela 12 -	Resumo da análise de variância, para as variáveis condutância estomática (gs), potencial hídrico foliar (PH), clorofila a (CIA), clorofila B (CIB) e clorofila total (CIT) referente ao mês de outubro de 2019, em função dos diferentes níveis de	

	adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.	79
Tabela 13 -	Resumo da análise de variância, para as variáveis condutância estomática (gs), potencial hídrico foliar (PH), clorofila a (ClA), clorofila B (ClB) e clorofila total (ClT) referente ao mês de fevereiro de 2020, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.	79
Tabela 14 -	Resumo da análise de variância, para as variáveis número de estômatos (NE), diâmetro polar dos estômatos (DP), diâmetro equatorial dos estômatos (DE), densidade estomática (DEN) e relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) referente ao mês de agosto de 2019, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020....	80
Tabela 15 -	Resumo da análise de variância, para as variáveis número de estômatos (NE), diâmetro polar dos estômatos (DP), diâmetro equatorial dos estômatos (DE), densidade estomática (DEN) e relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) referente ao mês de fevereiro de 2020, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.	80
Tabela 16 -	Resumo da análise de variância, para as variáveis número de vasos do xilema (NVX), área do floema (AF), área do xilema (AX), frequência de vasos do xilema (FVX) e diâmetro dos vasos do xilema (DVX) referente ao mês de agosto de 2019, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.....	80
Tabela 17 -	Resumo da análise de variância, para as variáveis número de vasos do xilema (NVX), área do floema (AF), área do xilema (AX), frequência de vasos do xilema (FVX) e diâmetro dos vasos do xilema (DVX) referente ao mês de fevereiro de 2020, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.	81
Tabela 18 -	Resumo da análise de variância, para as variáveis espessura da cutícula da face adaxial (CUT), espessura da epiderme da face adaxial (EAD), espessura do parênquima paliçádico (PPA), espessura do parênquima esponjoso (PES), espessura do mesofilo (MES) e espessura da epiderme da face abaxial (EAB)	

referente ao mês de agosto de 2020, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.....81

Tabela 19 -	Resumo da análise de variância, para as variáveis espessura da cutícula da face adaxial (CUT), espessura da epiderme da face adaxial (EAD), espessura do parênquima paliçádico (PPA), espessura do parênquima esponjoso (PES), espessura do mesofilo (MES) e espessura da epiderme da face abaxial (EAB) referente ao mês de fevereiro de 2020, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020....81
-------------	---

LISTA DE ABREVIATURAS

AF	Área do floema
ALT	Altura de plantas
AX	Área do xilema
CIA	Clorofila A
CIB	Clorofila B
CIT	Clorofila total
CUT	Espessura da cutícula
DC	Diâmetro de caule
DVX	Diâmetro dos vasos do xilema
EAB	Espessura da epiderme abaxial
EAD	Espessura da epiderme adaxial
FVX	Frequência de vasos do xilema
gs	Condutância estomática
MES	Espessura do mesofilo
NDVI	Índice de vegetação por diferença normalizada
NF	Número de folhas
NFP	Número de folhas no primeiro ramo plagiotrópico
NNP	Número de nós no primeiro ramo plagiotrópico
NP	Número de plagiotrópicos
NVX	Número de vasos do xilema
PES	Espessura do parênquima esponjoso
PH	Potencial hídrico foliar
PPA	Espessura do parênquima paliçádico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Critérios de essencialidade dos nutrientes minerais	19
2.2	Nitrogênio.....	19
2.3	Fósforo	20
2.4	Potássio	22
2.5	Efeitos da adubação no crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro	23
2.6	Efeitos da adubação na anatomia foliar e fisiologia do cafeeiro	25
2.7	Índice de vegetação.....	27
3	MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1	Caracterização da área experimental.....	30
3.2	Implantação e condução do experimento	31
3.3	Delineamento experimental e tratamentos.....	32
3.4	Reaplicação dos tratamentos	33
3.5	Avaliações.....	34
3.5.1	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	34
3.5.2	Dados meteorológicos.....	34
3.5.3	Crescimento vegetativo	35
3.5.4	Características fisiológicas.....	35
3.5.4.1	Condutância estomática foliar ($gs - \mu mol\ m^{-2}s^{-1}$)	36
3.5.4.2	Índice de clorofila	36
3.5.4.3	Potencial hídrico foliar (PH - MPa).....	36
3.5.5	Características anatômicas	36
3.6	Análises estatísticas	37
4	RESULTADOS.....	39
4.1	Comportamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)..	39
4.2	Crescimento vegetativo do cafeeiro	41
4.3	Fisiologia.....	44
4.4	Anatomia foliar.....	47
4.5	Correlação de Pearson	52
5	DISCUSSÃO	54

6	CONCLUSÕES	65
	REFERÊNCIAS	66
	APÊNDICE A - TABELAS	76

1 INTRODUÇÃO

Há vários anos a cafeicultura brasileira vem ocupando um lugar de destaque no cenário agrícola nacional e internacional. O Brasil é considerado o maior produtor, exportador e segundo maior consumidor mundial de café (ICO, 2020). Na safra 2019/2020, a produção estimada é de aproximadamente 61,63 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado, sendo 47,38 milhões de sacas de café arábica (*Coffea arabica* L.) e 14,25 milhões de sacas de café robusta (*Coffea canephora* Pierre) (CONAB, 2020).

No cenário nacional, Minas Gerais destaca-se como o principal estado produtor de café arábica, com produção estimada no ano agrícola 2019/2020 de 33,14 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado, as quais equivalem, aproximadamente, a 54% do volume total produzido no país. O parque cafeeiro mineiro é formado por 1,24 milhão de hectares e, desse total, 1,03 milhão de hectares em produção (83,06%) e 203,57 mil hectares (16,94%) em formação (CONAB, 2020).

Nos últimos 23 anos, observa-se acréscimo de produtividade média expressiva das lavouras cafeeiras, passando de 8,00 scs.ha⁻¹ em 1997, para 32,00 scs.ha⁻¹ na safra de 2019/2020 (EMBRAPA, 2019; CONAB, 2020) devido ao uso de novas tecnologias disponíveis. Atrelado a esse incremento de produtividade, obtido no decorrer dos anos, ocorre maior exigência da planta quanto a nutrição mineral, o que pode ser evidenciado por alterações na morfologia e no vigor das plantas. Por isso, avanços no entendimento das necessidades nutricionais e recomendações de adubação tornam-se necessários com tantas mudanças tecnológicas ocorridas nos últimos anos.

Segundo Guimarães e Reis (2010) as lavouras de café no estado de Minas Gerais estão em sua maioria implantadas em solos naturalmente pobres, de baixa a média fertilidade natural. Com isso, para atender a demanda nutricional do cafeeiro, da implantação até a produção, visando atingir altas produtividades, a planta necessita de adubações suficientes e equilibradas com macro e micronutrientes.

Porém, no campo, um entrave é comumente encontrado pelo cafeicultor quanto ao uso de corretivos e fertilizantes minerais, pois na elaboração do custo de produção da cultura esses itens podem chegar a 25-30% do custo total da saca de café beneficiado. Com isso, em anos de preços baixos do produto, os cafeicultores reduzem drasticamente o uso desses insumos, comprometendo ainda mais a produtividade e, conseqüentemente, a receita líquida do empreendimento (GUIMARÃES; REIS, 2010). Em contrapartida, em épocas de bons preços do café, o cafeicultor é levado ao uso excessivo de fertilizantes, ocasionando em determinadas

situações, desequilíbrios nutricionais, o que também pode levar a perdas de crescimento e produtividade e, portanto, prejuízos econômicos.

Dados interessantes sobre a influência do nível de adubação no crescimento e produtividade de lavouras cafeeiras foram disponibilizados recentemente na literatura. Em experimento instalado em 2010, vários trabalhos foram desenvolvidos até 2019, com lavoura de café fertirrigada evidenciando os resultados dos diferentes níveis de adubação com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na produtividade e estabelecimento de faixas críticas de teores foliares desses macronutrientes no primeiro e segundo ano de adubação após o plantio (PINTO *et al.*, 2013; VILELLA *et al.*, 2015). Ainda, na mesma pesquisa, Gama *et al.* (2017) demonstraram os efeitos das adubações nas características de trocas gasosas, anatomia foliar e produtividade no segundo ano após o ano de plantio e, em seguida Resende (2019) estabeleceu o crescimento e produtividade de cafeeiros fertirrigados com diferentes níveis de N, P e K, antes e após poda por recepa, contribuindo para novos conceitos de adubação.

Do exposto, o presente trabalho ajudará na melhor compreensão das possíveis alterações do cafeeiro em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K e pode auxiliar no desenvolvimento de um programa racional de adubação de cafeeiros em formação no cultivo de sequeiro, pois a maioria dos trabalhos ainda são voltados para cafeeiros em produção e condições de fertirrigação.

Desse modo, objetivou-se nesse estudo, avaliar o crescimento vegetativo, a anatomia e fisiologia das plantas de cafeeiro em formação, em função dos diferentes níveis de adubação, buscando correlação com o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Critérios de essencialidade dos nutrientes minerais

O termo elemento mineral ou nutriente mineral foi proposto por Arnon e Stout (1939), em que os autores estabelecem três critérios para um elemento ser considerado essencial, sendo: a) se sua ausência impede que a planta complete o seu ciclo vital; b) se o elemento não pode ser substituído por outro elemento com propriedades similares; c) o elemento deve participar diretamente do metabolismo da planta, e seu benefício não deve estar somente relacionado ao fato de melhorar as características do solo, por meio do crescimento da microflora, mas também de possibilitar outro efeito benéfico à planta.

Devido às particularidades existentes entre cada nutriente mineral, torna-se importante fazer considerações sobre os macronutrientes avaliados nesse trabalho.

2.2 Nitrogênio

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes minerais consumidos em maiores quantidades pelo cafeeiro, tanto na formação quanto na fase de produção (CARVALHO *et al.*, 2010). Na planta, o N atua como um importante regulador de processos fisiológicos e bioquímicos, tais como, expansão foliar, desenvolvimento radicular e expressão de inúmeros genes (BOUGUYON *et al.*, 2012), além de ser um componente fundamental de biomoléculas como aminoácidos, proteínas, nucleotídeos, hormônios vegetais e clorofila (SOUZA; FERNANDES, 2018).

No café, relaciona-se o N com a produção, pois o nutriente proporciona aumento da área foliar e no número de gemas floríferas por planta, promove incremento da ramificação dos ramos plagiotrópicos, maior produção de amido, dentre outros carboidratos indispensáveis para formação e crescimento dos frutos (GUIMARÃES; REIS, 2010).

O nitrogênio é fornecido para as plantas essencialmente pela matéria orgânica do solo (MOS), fixação biológica e por fertilizantes nitrogenados. No solo, o grande estoque de N ocorre na forma orgânica, como parte da MOS, que representa mais de 95% do N total (CANTARELLA, 2007). Entretanto, nessa forma, ele não é diretamente aproveitado pelas plantas, devendo ser mineralizada para produzir NH_4^+ (amônio), o qual pode ser, posteriormente, nitrificado, gerando NO_3^- (nitrato), ambos, íons disponíveis para absorção das plantas (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010). Além disso, o processo de mineralização é afetado por condições de clima e solo, e, assim, a fração efetivamente tornada disponível para

as plantas pode não ser suficiente para suprir a quantidade de N requerida pela planta em cultivos comerciais (MALAVOLTA, 1986). Portanto, com objetivo de atender essa demanda, utilizam-se os fertilizantes nitrogenados.

As recomendações de adubação mineral com N disponíveis em manuais e boletins, para cafeeiros em pós-plantio varia de 3 a 5 g.planta⁻¹ de N, em cada aplicação, em cobertura, após o ‘pegamento’ no campo. No primeiro ano (12 a 24 meses após o plantio) e segundo ano (24 a 36 meses após o plantio) de formação, as doses variam de 8 a 30 g.planta⁻¹ e 20 a 60 g.planta⁻¹ de N em cada aplicação, respectivamente. Para cafeeiros em produção, as doses de N baseiam-se na produção esperada e no teor do nutriente na folha. A recomendação deste nutriente situa-se entre 50 a 450 kg.ha⁻¹ por ano agrícola. As adubações nitrogenadas nesses estádios devem ser realizadas no período chuvoso, parceladas em três a quatro vezes (GUIMARÃES *et al.*, 1999; ANDRADE, 2004; GUERREIRO FILHO *et al.*, 2014).

Segundo Matiello *et al.* (2015), a planta de café acumula do plantio até os 30 meses de idade, aproximadamente 63g de N. Ainda, segundo os mesmos autores, na fase adulta do cafeeiro, estima-se para cada saca de 60 kg de café beneficiado, um consumo médio de 6,2 kg de N, valor esse investido nas fases de crescimento vegetativo e produção e, variável em função de fatores edafoclimáticos de cultivo.

O sintoma indicativo da deficiência de N ocorre em folhas velhas, devido ao nutriente possuir grande mobilidade no floema (CARVALHO *et al.* 2010). Em cafeeiros, a deficiência de N pode resultar em clorose generalizada, redução da síntese de clorofila, redução drástica no desenvolvimento da planta, ocorrência de desfolha de ramos medianos, seca de ponteiros e diminuição do tamanho e aumento na queda dos frutos (DECHEN; NACHTIGALL, 2007; GUIMARÃES; REIS, 2010; CARVALHO *et al.*, 2010).

Plantas com excesso de N apresentam-se com coloração verde-escuro e folhagem abundante, mas com sistema radicular restrito (CARVALHO *et al.*, 2010). O excesso de N provoca desequilíbrio nas relações de N/P e N/K, diminuindo a produção e estimulando o crescimento vegetativo, prejudicando, ainda, a qualidade da bebida (GUIMARÃES; REIS, 2010).

2.3 Fósforo

O fósforo (P) é um macronutriente pouco exigido pelo cafeeiro quando comparado aos demais macronutrientes, sendo também pouco exportado para os grãos (GUIMARÃES *et al.*, 2011). Entretanto, esse nutriente é aplicado em quantidades várias vezes superiores a aquelas

requeridas pela cultura (FURTINI NETO *et al.*, 2001), isso devido à interação com constituintes do solo como cálcio (Ca), óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), a ocorrência em formas orgânicas e a sua lenta taxa de difusão na solução do solo, o P é um nutriente menos prontamente disponível na rizosfera vegetal (MALAVOLTA, 2006).

O P participa de vários processos metabólicos em plantas, da síntese de moléculas, como ácido desoxirribonucleico (DNA), ácido ribonucleico (RNA), adenosina trifosfato (ATP) e NADPH, e de fosfolipídeos das membranas. Ainda tem papel fundamental na fotossíntese, respiração, metabolismo de carboidratos, respiração simbiótica e ativação de proteínas por meio de fosforilações (POIRIER; BUCHER, 2002; VANCE.; STONE; ALLAN, 2003). As plantas absorvem a maior parte de seu fósforo na forma de ânion monovalente-ortofosfato biácido (HPO_4^-) e em pequenas quantidades na forma ânion bivalente-ortofosfato monoácido (H_2PO_4^-), sendo o pH o principal fator determinante na relação em que as duas formas estão disponíveis para absorção (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

O suprimento adequado de P é importante já nas fases iniciais das plantas, pois as limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no crescimento (GRANT *et al.*, 2001), visto que, juntamente com o N, representam os nutrientes que comumente mais limitam a produtividade das culturas em solos de regiões tropicais (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Para o cafeeiro, as recomendações de adubação mineral com P disponíveis em manuais e boletins sugerem, na implantação, doses de 20 a 80 g de P_2O_5 cova de plantio, em uma aplicação. No primeiro ano (12 a 24 meses após o plantio) e segundo ano (24 a 36 meses após o plantio) de formação não ocorre a aplicação de P_2O_5 , pois espera-se que o P fornecido no plantio atenda a demanda nutricional nesses estádios fenológicos. Na fase de produção, a recomendação é baseada na produtividade esperada e a quantidade de P disponível no solo, onde as recomendações variam de 0 a 160 kg.ha⁻¹ (GUIMARÃES *et al.*, 1999; ANDRADE, 2004; GUERREIRO FILHO *et al.*, 2014). Segundo Matiello *et al.* (2015), estima-se que na fase de produção haja um consumo médio de 0,61 kg de P_2O_5 para cada saca de 60 kg de café beneficiado, valor investido em crescimento vegetativo e produção.

Na literatura são encontrados resultados evidenciando a resposta do cafeeiro a diferentes doses de P_2O_5 nas fases iniciais de desenvolvimento (MELO *et al.*, 2005), sendo que Souza *et al.* (2014) ressaltaram que para o pleno desenvolvimento do cafeeiro são necessárias aplicações de doses de fósforo superiores às recomendadas atualmente. Assim, um dos objetivos desse trabalho é contribuir para a atualização das recomendações de nutrientes na fase de formação das lavouras cafeeiras.

Em relação à resposta da aplicação de P em cafeeiros em produção, alguns trabalhos realizados na região do Cerrado demonstraram incrementos de produtividade expressivos em função da adubação com P, em cafeeiros irrigados, como os realizados na cidade de Planaltina-DF (REIS *et al.*, 2011; REIS *et al.*, 2013). Esses autores encontraram aumentos de 138% (REIS *et al.*, 2011) e 76,7% (REIS *et al.*, 2013) em relação ao tratamento sem aplicação de P_2O_5 , sendo que nos dois casos o aumento de produtividade foi linear até 400 kg.ha⁻¹ de P_2O_5 (maior dose estudada).

Em situação de deficiência de P no cafeeiro, o primeiro sintoma é observado em folhas velhas, pela presença de folhas com coloração avermelhada/arroxeadas, devido a formação de pigmentos de antocianinas. Algumas vezes, o sintoma manifestado nas folhas é por meio da alteração para tons de verde mais escuro. As plantas afetadas por deficiência têm pequeno desenvolvimento do sistema radicular, especialmente as raízes secundárias, acompanhado de paralisação do crescimento, onde folhas e caule são bem menores do que nas plantas normais (crescimento retardado). Também se observa queda prematura das folhas e nestas condições, associa-se uma menor produção e menor qualidade do café produzido (MALAVOLTA, 1980; CARVALHO *et al.*, 2010).

2.4 Potássio

As exigências do cafeeiro em potássio (K) são equivalentes às de N (MALAVOLTA, 1993). O K é fundamental na fotossíntese, ativa mais de 60 sistemas enzimáticos (sintetases, oxidoredutases, desidrogenases, transferases, cinases), favorece um alto estado de energia (essencial para a produção de ATP), mantém o turgor celular, regula abertura e fechamento estomático, promove absorção de água, regula a translocação de nutrientes na planta, favorece o transporte e o armazenamento de carboidratos, incrementa a absorção do N e a síntese de proteínas, além de participar da síntese de amido nas folhas (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2017). A absorção de K na planta é dada pelo íon monovalente K⁺.

A demanda de K no cafeeiro aumenta com a idade e, principalmente, na fase de frutificação, na qual ocorre a translocação do K das folhas para os frutos em função da alta mobilidade do nutriente na planta (GUIMARÃES; REIS, 2010).

De acordo com as recomendações de adubação mineral com K disponíveis em manuais e boletins, para cafeeiros em pós-plantio, a dose varia de 0 a 30 g.planta⁻¹ de K em um ano, em cobertura, após o ‘pegamento’ das mudas no campo. No primeiro ano (12 a 24 meses após o plantio) e segundo ano (24 a 36 meses após o plantio) de formação as doses variam de 0 a 40

g.planta⁻¹ e 0 a 60 g.planta⁻¹ de K por ano, respectivamente. Para cafeeiros em produção, a recomendação deste nutriente é entre 0 a 450 kg.ha⁻¹ por ano agrícola. As adubações nesses estádios devem ser realizadas no período chuvoso, parceladas em três a quatro vezes (GUIMARÃES *et al.*, 1999; ANDRADE, 2004; GUERREIRO FILHO *et al.*, 2014). Para a vegetação e produção estimam-se que na fase de produção, um consumo médio de 5,9 kg de K₂O para cada saca de 60 kg de café beneficiado (MATIELLO *et al.*, 2015).

No geral, em cafeeiros, os altos teores de K estão associados com altas produtividades (MALAVOLTA, 1993). Nesse sentido, trabalhos com lavouras em produção, demonstram respostas positivas da adubação potássica na produtividade e qualidade da bebida (SILVA *et al.*, 1999; SILVA *et al.*, 2001; SILVA *et al.*, 2002).

Na carência deste nutriente, o sintoma de deficiência apresentado nos cafeeiros é expresso inicialmente em folhas velhas, por meio de clorose, seguida de necrose das margens externas e pontas das folhas. Ainda podem apresentar aumento de sensibilidade a doenças, déficit hídrico, injúrias pelo frio e frutos menores e chochos. Em excesso, o K pode levar a deficiência de magnésio e, possivelmente, manganês, zinco e ferro, devido a competição pelo mesmo sítio de absorção (CARVALHO, 2010).

2.5 Efeitos da adubação no crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro

O requerimento nutricional de uma determinada cultura depende da exigência no estágio de crescimento vegetativo e reprodutivo, eficiência do adubo aplicado e a fração de nutrientes suprida pelo solo (LAVIOLA *et al.*, 2007b). Os mesmos autores, demonstraram no cafeeiro variações nas exigências nutricionais entre cultivares, de ano a ano, bem como durante o ano, sendo o período reprodutivo, o de maior requerimento nutricional.

No ciclo fenológico do café observa-se uma demanda crescente de N, P e K desde o pós plantio até 6,5 anos de idade (MALAVOLTA, 1993). Em estágio inicial, as exigências do cafeeiro são pequenas e crescem rapidamente a partir de 1,5 a 2,5 anos de idade, período esse onde planta passa a suprir a vegetação e produção. Por esses motivos, não se pode considerar a adubação de uma planta em pleno crescimento vegetativo, semelhante a uma planta que além de vegetar, tem que produzir frutos. Corroborando com isso, Laviola *et al.* (2007a) demonstraram a diferença no acúmulo de nutrientes entre as fases de crescimento, indicando baixa demanda por N e K na fase vegetativa, e alta demanda a partir da fase produtiva.

Matiello *et al.* (2015) indicaram que na fase de formação, as exigências de nutrientes das cultivares Mundo Novo e Catuaí aumentaram de forma quase geométrica, da muda até a

idade de 18 meses, sendo os nutrientes essenciais exigidos na seguinte ordem: nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo e enxofre para os macronutrientes e ferro, manganês, boro, cobre e zinco para os micronutrientes.

Ainda sobre a alocação de nutrientes no cafeeiro, Laviola *et al.* (2009), em trabalho com intuito de avaliar o acúmulo de macronutrientes nos frutos, indicaram que maiores ganhos líquidos de N e P ocorreram na fase de expansão e os maiores ganhos líquidos de matéria seca e K na etapa de ‘enchimento de grãos’.

Em trabalho sobre o efeito da omissão de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) em solução nutritiva, na composição química das folhas e no crescimento do cafeeiro, Haag e Malavolta (1960) verificaram que a ausência de nitrogênio foi a que mais afetou o peso da matéria seca das folhas e do caule, além do número de folhas. Raij *et al.* (1996) verificaram que a adubação nitrogenada influenciou positivamente a produtividade do cafeeiro enquanto que para a potássica não observaram efeito.

Segundo Clemente *et al.* (2008), a dose ideal para o primeiro ano pós plantio do cafeeiro está entre 71 e 112% da adubação padrão recomendada por Guimarães *et al.* (1999) para os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, em trabalho realizado sob condições de casa de vegetação.

Em trabalho com quatro cultivares de cafeeiro recém-plantadas em sequeiro quanto ao seu crescimento inicial sob diferentes doses de N, P e K, em solos corrigidos e com bom teor de matéria orgânica, Vilela *et al.*, (2017) constataram uma baixa demanda inicial desses nutrientes até um ano de idade. Além disso, relataram uma resposta não linear no crescimento vegetativo com o aumento de doses dos nutrientes estudados e, ainda concluíram que pode-se reduzir em até 50% o recomendado por Guimarães *et al.* (1999) nas adubações com N, P e K, tanto em adubação de cobertura como para adubação de primeiro ano nas condições do solo utilizado no experimento.

Em lavouras fertirrigadas, no primeiro e segundo ano de adubação após o plantio, Pinto *et al.* (2013) e Villela *et al.* (2015) verificaram que o melhor nível de adubação com N, P e K é 122,61% e 118,33% da adubação padrão utilizada para lavouras de sequeiro, respectivamente. Nesse mesmo experimento, em avaliações posteriores, Resende (2019) afirmou que na formação da lavoura, até a quarta safra, as maiores produtividades foram encontradas na faixa de 116% a 131% da adubação padrão com N, P e K. Além disso, o mesmo autor ressalta que em níveis de adubação acima de 130%, o incremento na produtividade é insatisfatório em relação ao custo de produção.

Ainda, em lavoura fertirrigada, Santana *et al.* (2019) concluíram que níveis de adubação abaixo de 80% com N e K, recomendada para plantas não irrigadas, restringem o crescimento

do cafeeiro em lavouras irrigadas e os níveis de adubações acima do patamar de 130% não promovem diferenças expressivas no índice de área foliar das plantas de cafeeiros fertirrigado nos parcelamentos utilizados.

2.6 Efeitos da adubação na anatomia foliar e fisiologia do cafeeiro

Informações relacionadas à anatomia e à fisiologia vegetal são fundamentais na compreensão de possíveis modificações das plantas frente aos diferentes níveis de adubação.

Relata-se que a nutrição mineral exerce importantes funções no metabolismo vegetal, influenciando fatores relacionados à fisiologia, composição da organização estrutural e o crescimento das plantas (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA, 2006). A falta de um nutriente mineral essencial à planta, seja por escassez no solo ou devido a menor absorção quando em interação com outros nutrientes, traduzem-se em deficiências nutricionais e como consequência, desarranjos nos processos metabólicos da planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Esses desarranjos afetam a estrutura interna da planta, portanto, promove eventuais alterações na diferenciação vascular, estrutura foliar e ultraestrutura celular, assim como a perda da integridade da parede celular (DICKISON, 2000).

A folha é um dos principais órgãos da planta e exerce, dentre outras funções, fotossíntese e trocas gasosas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Em cafeeiros, a anatomia e fisiologia foliar sofrem modificações em função das condições de radiação (MORAIS *et al.*, 2004; NASCIMENTO *et al.*, 2006; GOMEZ *et al.*, 2008; BALIZA *et al.*, 2012), restrição hídrica (DAMATTA; RAMALHO, 2006; GRISI *et al.*, 2008; BATISTA *et al.*, 2010; QUEIROZ-VOLTAN *et al.*, 2014; PELOSO *et al.*, 2017; CASTANHEIRA, 2018) e diferentes níveis de adubação com macro e micronutrientes (REIS *et al.*, 2006; ROSOLEM; LEITE, 2007; GODOY *et al.*, 2008; NEVES, 2009; GAMA *et al.*, 2017), com objetivo de conferir características adaptativas a planta em diferentes situações.

Rosolem e Leite (2007) ressaltaram a importância dos estudos anatômicos em plantas com objetivo de observar o efeito dos nutrientes sobre a mesma, visto que a anatomia de plantas pode influenciar na translocação de nutrientes. Os mesmos autores, em ensaio com objetivo de analisar o efeito dos níveis de adubação com boro (B) na anatomia de ramos e folhas, com duas cultivares de café (Catuaí e Mundo Novo), observaram em plantas com deficiência de B uma redução no número de estômatos, desorganização dos tecidos vasculares e as paredes do xilema mais finas. Ainda concluíram que tal resultado, mesmo que eventualmente, pode resultar em menor translocação de B dentro da planta.

Em estudo com objetivo de avaliar o efeito da deficiência de zinco (Zn) na plasticidade anatômica foliar do cafeeiro, Neves (2009) observou que o tratamento sem fornecimento de Zn não apresentou sinais de desorganização dos tecidos, porém, ocorreu aumento da espessura do limbo foliar, do mesofilo e do parênquima esponjoso.

Reis *et al.* (2006), em trabalho com cafeeiro em sequeiro, avaliaram o efeito de cinco doses (0, 50, 150, 250 e 350 kg ha⁻¹) em três épocas de aplicação (aplicação única, duas aplicações e três aplicações) de N sobre o teor foliar, índice de clorofila e produtividade, observaram correlação positiva entre o índice de clorofila e o teor de N nas folhas e produtividade, sendo que a dose de 210 kg ha⁻¹ proporcionou maior produtividade e teores foliares adequados. Os mesmos autores, concluíram também que a estimativa do teor de clorofila foi promissora para detecção de possíveis deficiências de nitrogênio.

Em cafeeiro fertirrigado, Godoy *et al.* (2008) trabalharam com cinco doses de N (0, 33, 66, 100 e 133% da dose recomendada) com objetivo de verificar se o índice relativo de clorofila (IRC) poderia ser indicativo do estado nutricional em N. Observaram que o IRC aumentou linearmente com as doses, e a produtividade correlacionou-se significativamente com o IRC, do florescimento até a colheita, porém, não com a concentração de N foliar. Ainda, concluíram que o IRC pode ser utilizado para definir a probabilidade de resposta a N no decorrer do ciclo do cafeeiro.

Resultados obtidos por Gama *et al.* (2017), em trabalho com objetivo de identificar possíveis modificações nas características de anatomia foliar, fisiologia e produtividade dos cafeeiros fertirrigados submetidos a diferentes níveis de adubação (40, 70, 100, 130 e 160% da recomendação) com NPK no segundo ano após implantação da lavoura, indicaram diferenças na anatomia foliar do cafeeiro, verificando alterações na densidade estomática, diâmetro equatorial e polar dos estômatos, espessura do parênquima paliçádico, vasos do xilema e floema, demonstrando possíveis correspondências dessas características com a disponibilidade de nutrientes. Os autores ainda observaram a não significância para as variáveis produtividade e trocas gasosas do cafeeiro entre os diferentes níveis de adubação.

Entretanto, são poucas as informações encontradas na literatura sobre o efeito dos níveis de adubação no comportamento das características anatômicas e fisiológicas do cafeeiro em sequeiro, no período de formação.

2.7 Índice de vegetação

Na agricultura, técnicas de sensoriamento estão sendo utilizadas para obter índices de vegetação para correlacioná-los com características biofísicas, estado nutricional e produtividade das culturas agrícolas. Esses parâmetros podem ser estimados por meio da caracterização da refletância, e são calculados a partir de razões ou diferenças de duas ou mais bandas nos comprimentos de onda (WÓJTOWICZ; WÓJTOWICZ; PIEKARCZYK, 2016).

Dentre os índices de vegetação existentes, o mais antigo e utilizado no sensoriamento remoto é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (sigla em inglês NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*) (DORIGO *et al.*, 2007). Esse índice foi proposto por Rouse *et al.* (1973) e é calculado como a diferença entre os comprimentos de onda da faixa infravermelho próximo e do vermelho, divididos pela sua soma, conforme a Equação 1:

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)}, \quad (1)$$

Em que:

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

NIR = faixa espectral de reflectância da superfície ao infravermelho próximo (770 nm).

R = faixa espectral de reflectância da superfície ao espectro eletromagnético da região do vermelho (660 nm).

Percebe-se que as plantas apresentam resposta espectral distinta dos demais alvos, como a água e solo (WÓJTOWICZ; WÓJTOWICZ; PIEKARCZYK, 2016), onde absorvem grande parte da radiação incidente na região do vermelho e refletem na faixa do infravermelho próximo (ALVES; SILVA, 2013).

Observa-se na região do vermelho, usualmente, uma baixa reflectância, uma vez que é influenciada pelos pigmentos fotossintetizantes, predominantemente as clorofilas, que absorvem a radiação eletromagnética (REM) na região do vermelho (ALVES; SILVA, 2013). Portanto, modificações no índice de clorofila podem alterar essa absorção, ocasionando assim modificação na reflectância das folhas (DAUGHTRY *et al.*, 2000). Nesse sentido, o aumento do teor de N, elemento essencial na constituição da clorofila (TAIZ; ZEIGER, 2017), resulta em mudanças na quantidade de clorofila e, acarreta em maior absorção na região do vermelho (DAUGHTRY *et al.*, 2000) e naturalmente o aumento nos valores médios de NDVI (SOUZA *et al.*, 2009). Na região do infravermelho próximo, a reflectância é determinada pela estrutura celular das folhas, onde as características das folhas são afetadas pelo teor de água na folha e a disponibilidade dela no solo (THOMAS *et al.*, 1971; GAUSMAN *et al.*, 1969).

Nesse contexto, na cultura do feijão, Pias *et al.* (2017) mostraram a correlação positiva entre o teor de clorofila e NDVI e, corroborando, Santos *et al.* (2017) notaram uma correlação positiva entre NDVI e teor de N foliar em braquiária *Urochloa brizantha*. Do mesmo modo, na cultura do trigo, tritcale e cevada, Povh *et al.* (2008) observaram resposta as aplicações de doses crescentes de N, pelo aumento nas leituras do NDVI, no teor de N foliar e na produtividade. Ainda, Bredemeier *et al.* (2013) reportaram que o maior potencial produtivo é proporcionado pela maior disponibilidade de N e maior acúmulo de biomassa e, que as maiores produtividades se relacionaram com os maiores valores de NDVI.

O monitoramento do crescimento e estimativa do rendimento das culturas pode ser realizado usando como base os dados de NDVI (JIANG *et al.*, 2003). Visto isso, diversos autores relataram a utilização do NDVI para estimar antes da colheita a produtividade de amendoim, milho, trigo (BREDEMEIER *et al.*, 2013; RISSINI *et al.*, 2015; VIAN *et al.*, 2018b; ZERBATO *et al.*, 2016) e, também, na cultura do café (ROSA *et al.*, 2010).

Sabe-se que as plantas sofrem alterações na resposta espectral devido a fatores ambientais, incidência de doenças e deficiências nutricionais (SAMBORSKI; TREMBLAY; FALLON, 2009), pois, tecidos doentes ou com algum tipo de estresse absorvem mais o comprimento de onda infravermelho, enquanto o comprimento de onda vermelho é absorvido em maior quantidade nos tecidos sadios (ALVES; SILVA, 2013).

Os perfis temporais do NDVI vêm sendo úteis no acompanhamento do vigor vegetativo de plantas na região do Bioma Amazônico frente às condições climáticas, como as curvas de temperatura e precipitação mensal (PAIVA *et al.*, 2016), além de acompanhar as alterações no acúmulo de biomassa e vigor vegetativo frente as principais etapas fenológicas e práticas de manejo da videira (JUNGES *et al.*, 2017). No cafeeiro, Volpato *et al.* (2013) demonstraram correlação negativa entre NDVI e déficit hídrico, pois o teor de água no solo, assim como o potencial hídrico foliar, estão relacionados ao vigor da vegetação e, conseqüentemente, refletem nos valores de NDVI (LIU *et al.*, 2012; REYNOLDS *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2014).

A reflectância das plantas também é utilizada como auxílio na estimativa no manejo do nitrogênio em diversas culturas, como trigo, cevada, cana-de-açúcar e algodão (MOLIN *et al.*, 2010; POVH *et al.*, 2008; VIAN *et al.*, 2018a; ZHOU; YIN, 2018).

No cafeeiro, Silva (2019) demonstrou em trabalho avaliando o vigor vegetativo, que o NDVI obtido, por meio do sensor Greenseeker, é uma medida para verificar o vigor vegetativo de cafeeiros quanto a estratégias de manejo. Por captar o enfolhamento das plantas, o NDVI está correlacionado com a produtividade do café e com a altura de plantas. Ainda, Silva *et al.* (2015) ressaltaram que o NDVI é uma alternativa de baixo custo, de elevada repetibilidade e

pouco invasiva, para se obter as variações do índice de área foliar (IAF) em elevada resolução temporal.

A obtenção de dados de NDVI pode ser realizada a partir de imagens de satélite, estações de coletas de dados fixos e equipamentos portáteis (WÓJTOWICZ; WÓJTOWICZ; PIEKARCZYK, 2016), como o sensor ótico ativo portátil Greenseeker TM (*NTech Industries, Inc.*, Ukiach, CA, EUA) utilizado nesse trabalho.

O Greenseeker TM é usado para mensurar o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em tempo real e de maneira não destrutiva do material vegetal. Ao ser acionado, o aparelho emite radiação eletromagnética em dois comprimentos de onda no alvo, um no vermelho (660 nm) e um no infravermelho próximo (770 nm). A leitura de reflectância é calculada por um sensor, fornecendo o valor do NDVI. O valor da leitura do dispositivo varia entre 0,00 a 0,99 e, quanto maior a leitura, mais saudável ou com maior biomassa está a planta, enquanto o zero representa ausência de vegetação (GOVAERTS; VERHULST, 2010).

A vantagem do uso desse equipamento é a eliminação de interferências ambientais, como as nuvens, além de proporcionar melhores resoluções em comparação com satélites e aeronaves montados de sensores (WÓJTOWICZ; WÓJTOWICZ; PIEKARCZYK, 2016), uma vez que o sensor portátil é mantido próximo às culturas, além de possuir um valor acessível e com a possibilidade de uso pelo próprio produtor. Um fator limitante desse dispositivo é a necessidade de as leituras serem feitas em campo.

Visto isso, resultados indicam o potencial do uso do NDVI como uma tecnologia adicional para os cafeicultores em diversas vertentes. No entanto, as pesquisas relacionadas ao NDVI com a cultura do café ainda são escassas, por isso, a necessidade de novas informações para o desenvolvimento dessa ferramenta.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em área experimental de 0,11 hectares, do Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura (DAG), na Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada no município de Lavras – MG, situada em latitude 21°22'57.51'' Sul e longitude 44°97'17.84'' Oeste, a altitude média de 918 metros. O clima do local, de acordo com a classificação climática de Koppen é do tipo Cwa, caracterizado por duas estações distintas: seca no período de abril a setembro e chuvosa, no período de outubro a março.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro distroférico (EMBRAPA, 2018) de textura argilosa, cujos resultados das análises físicas e químicas das camadas de 0 a 20 e 20 a 40 centímetros (cm) de profundidade antes da instalação do ensaio, em agosto de 2018, são observadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e análise física do solo* da área experimental antes da implantação do experimento. Lavras – MG, 2020.

Característica	0-20 cm	20-40 cm
pH (H ₂ O)	6,10	5,60
P-rem (mg L ⁻¹)	24,88	24,21
P (mg.dm ⁻³)	19,55	4,33
K (mg.dm ⁻³)	108,22	61,18
Ca (cmol _c .dm ⁻³)	3,67	2,24
Mg (cmol _c .dm ⁻³)	0,81	0,44
Al (cmol _c .dm ⁻³)	0,05	0,05
H + Al (cmol _c .dm ⁻³)	2,62	3,06
SB (cmol _c .dm ⁻³)	4,76	2,84
t (cmol _c .dm ⁻³)	4,81	2,91
T (%)	7,38	5,90
V (%)	64,46	48,08
m (%)	1,04	2,41
M.O (dag/kg ⁻¹)	1,90	1,54
Zn (mg/dm ³)	4,52	3,50
Fe (mg/dm ³)	38,18	37,84
Mn (mg/dm ³)	23,07	11,65
Cu (mg/dm ³)	3,65	3,77
B (mg/dm ³)	0,12	0,12
S (mg/dm ³)	18,16	76,98
Argila (%)	64,00	-
Silte (%)	20,00	-
Areia (%)	16,00	-

*Laudo emitido pelo Laboratório de Análise Química e Física de Solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras.

P-Rem = fósforo remanescente; SB = soma de bases trocáveis; (t) = capacidade de troca catiônica efetiva; (T) = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação de bases; m = índice de saturação por alumínio; M.O = matéria orgânica.

Fonte: Do autor (2020).

3.2 Implantação e condução do experimento

A implantação do experimento ocorreu em 11 de dezembro de 2018, com mudas da cultivar ‘Mundo Novo IAC 379/19’, da espécie *Coffea arabica* L., com espaçamento de 3,50 metros nas entrelinhas e 0,55 metros entre as plantas na linha de plantio.

Três meses antes da instalação do experimento, foi realizada a correção do solo da área experimental, composta de uma calagem em área total, na dose de 750 kg.ha⁻¹, com objetivo de elevar a saturação por bases a 70%, conforme recomendações de Guimarães *et al.* (1999), sucedida de uma aração e duas gradagens, visando incorporar o mesmo a 30 centímetros de profundidade. No sulco de plantio, foi feita a aplicação do calcário complementar, na dose de 40g m⁻¹, e posteriormente, uma operação de subsolagem. As garantias do calcário empregado foram: 38,5% de CaO, 10,9% de MgO e PRNT de 80%. Para o plantio das mudas, as covas

foram feitas com enxadão nas dimensões de 40x40x40 cm de comprimento, largura e profundidade.

O monitoramento de pragas e doenças foi feito regularmente, conforme o calendário agrícola da cultura e, quando atingiam os níveis de controle, foi realizado o manejo fitossanitário, com produtos registrados para a cultura, seguindo as orientações dos fabricantes. A aplicação foliar de micronutrientes seguiu as especificações de Guimarães *et al.* (1999).

O manejo de plantas daninhas foi realizado durante todo período de condução do experimento, mantendo uma faixa de 1,00 m de cada lado da linha de plantio sempre livre de plantas daninhas, por meio de capinas, uso de herbicidas em pré-emergência (oxyfluorfen) e pós-emergência (glyphosate). Nas entrelinhas do cafeeiro, o controle foi feito com a utilização de roçadora mecânica.

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), com seis níveis de adubação e quatro repetições, totalizando 24 parcelas experimentais. Cada parcela experimental foi composta de oito plantas, com as seis plantas centrais úteis para as avaliações, distribuídas em uma única linha de plantio, onde os tratamentos foram alocados conforme sorteio. Utilizou-se também, em ambas as laterais, uma linha de bordadura.

Os níveis de adubação estabelecidos foram: 10, 40, 70, 100, 130 e 160% da adubação padrão para nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), conforme o manual Recomendações Para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação (GUIMARÃES *et al.*, 1999) para a formação do cafeeiro, em função da análise do solo.

A tabela encontrada na ‘Recomendação de Corretivos e Fertilizantes para o Estado de Minas Gerais’ em sua ‘Quinta Aproximação’ (GUIMARÃES *et al.*, 1999), foi tomada como base para os cálculos por se tratar de uma recomendação oficial para o estado, contendo valores equilibrados entre os nutrientes, calculada para lavouras sem irrigação, porém, necessitando de ajustes de atualização. Portanto, com a variação de doses de 10% a 160% buscou encontrar, neste intervalo, as quantidades ideais de N, P e K para implantação de lavouras sem irrigação, no entanto com adaptação para manejos modernos, dados esses, raros na literatura disponível.

As doses estabelecidas de N, P e K como padrão foram: 80 g de P_2O_5 por muda na cova de plantio, 20 g de K_2O por planta em um ano e 5 g de N por planta em cada aplicação, ambos em cobertura, divididas em dois parcelamentos, nos meses de janeiro e fevereiro de 2019. As descrições das doses aplicadas encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Descrição das doses de NPK empregadas em cada parcela experimental no ano agrícola 2018/2019. Lavras – MG, 2020.

Tratamentos	Dose de N (g.planta ⁻¹)	Dose de P ₂ O ₅ (g.cova ⁻¹)	Dose de K ₂ O (g.planta ⁻¹)
T1 (10%)	0,50	8,00	2,00
T2 (40%)	2,00	32,00	8,00
T3 (70%)	3,50	56,00	14,00
T4 (100%)	5,00	80,00	20,00
T5 (130%)	6,50	104,00	26,00
T6 (160%)	8,00	128,00	32,00

Fonte: Do autor (2020).

A adubação fosfatada foi realizada com o uso da fonte superfosfato simples (18% de P₂O₅). O fornecimento de N e K foi feito utilizando-se as fontes ureia (44% N) e cloreto de potássio (58% K₂O), respectivamente.

3.4 Reaplicação dos tratamentos

Antes da reaplicação dos tratamentos, em setembro de 2019, foi realizada a amostragem de solo na área experimental para análise química na camada de 0 a 20 centímetros de profundidade de cada tratamento, sem repetição (TABELA 3).

Tabela 3 - Caracterização química do solo da área experimental (0-20 cm)* antes da reaplicação dos tratamentos no ano de 2019. Lavras - MG, 2020.

Característica (0-20 cm)	T1	T2	T3	T4	T5	T6
pH (H ₂ O)	5,5	5,9	5,8	5,6	5,8	5,5
P-rem (mg L ⁻¹)	15,30	14,80	15,50	14,90	15,10	15,60
P (mg.dm ⁻³)	11,98	11,26	20,96	10,41	17,67	18,72
K (mg.dm ⁻³)	131,22	149,21	201,94	170,53	181,99	194,43
Ca (cmol _c .dm ⁻³)	3,85	4,19	4,52	4,08	4,40	4,11
Mg (cmol _c .dm ⁻³)	1,18	1,20	1,23	1,04	1,12	1,09
Al (cmol _c .dm ⁻³)	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10
H + Al (cmol _c .dm ⁻³)	2,80	2,60	2,60	2,90	2,70	3,60
SB (cmol _c .dm ⁻³)	5,37	5,77	6,27	5,56	5,99	5,70
t (cmol _c .dm ⁻³)	5,47	5,87	6,47	5,66	6,09	5,80
T (%)	8,17	8,37	8,87	8,46	8,69	9,30
V (%)	65,68	68,97	70,66	65,69	68,89	61,27
m (%)	1,83	1,70	3,09	1,77	1,64	1,72
MO (dag/kg ⁻¹)	2,45	2,39	2,42	2,34	2,49	2,79

T1= 10%; T2= 40%; T3=70%; T4= 100%; T5= 130%; T6= 160%.

*Laudo emitido pelo Laboratório de Análise Química e Física de Solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras.

Nota: P-Rem = fósforo remanescente; SB = soma de bases trocáveis; (t) = capacidade de troca catiônica efetiva; (T) = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação de bases; m = índice de saturação por alumínio; M.O = matéria orgânica.

Fonte: Do autor (2020).

As adubações com N e K foram realizadas nos meses de novembro de 2019, janeiro e fevereiro de 2020, em cobertura, com intervalos de aproximadamente 45 dias. As doses estabelecidas como padrão (em função da análise de solo) foram: 10 g de K₂O por planta em um ano e 10 g de N por planta em cada aplicação. As doses aplicadas encontram-se descritas na Tabela 4. As fontes utilizadas foram ureia (44% de N) e cloreto de potássio (58% de K₂O). Para o macronutriente fósforo não foi realizada nenhuma aplicação no ano de 2019.

Tabela 4 – Descrição das doses de NPK empregadas em cada parcela experimental no ano agrícola 2019/2020. Lavras - MG, 2020.

Tratamentos (%)	Dose de N (g.planta ⁻¹)	Dose de P ₂ O ₅ (g.cova ⁻¹)	Dose de K ₂ O (g.planta ⁻¹)
T1 (10%)	1,00	0,00	1,00
T2 (40%)	4,00	0,00	4,00
T3 (70%)	7,00	0,00	7,00
T4 (100%)	10,00	0,00	10,00
T5 (130%)	13,00	0,00	13,00
T6 (160%)	16,00	0,00	16,00

Fonte: Do autor (2020).

3.5 Avaliações

As características avaliadas foram: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), dados metrológicos, crescimento vegetativo, características fisiológicas e anatômicas.

3.5.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

As avaliações do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) foram feitas no dossel das plantas, utilizando o sensor ótico ativo portátil (*GreenSeeker Handheld Crop Sensor*, Trimble, USA). Os dados foram coletados posicionando o aparelho a 0,80 metros entre o sensor e o dossel das plantas (POVH *et al.*, 2008; REZNICK, 2017). As leituras foram realizadas de 23 de abril de 2019 a 25 de março de 2020, quinzenalmente, em todas as plantas da parcela útil.

3.5.2 Dados meteorológicos

Os parâmetros meteorológicos mensais de precipitação pluviométrica total (mm), umidade relativa (UR, em %), temperatura mínima (Tmin), média (Tmed) e máxima (Tmax), em °C, para o município de Lavras – MG, no período de 01/12/2018 a 31/03/2020, foram

obtidas por meio da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), situada na Universidade Federal de Lavras (UFLA).

3.5.3 Crescimento vegetativo

As avaliações de crescimento foram realizadas nos meses de abril, julho e outubro de 2019, e fevereiro de 2020, em todas as plantas da parcela útil. Os dados coletados para quantificação dessas características foram:

- a) Altura de plantas (ALT): em centímetros, medida do colo da planta até a gema apical do ramo ortotrópico, utilizando-se de uma régua graduada;
- b) Diâmetro de caule (DC): em milímetros, medida na região do colo da planta, com uso de um paquímetro eletrônico digital;
- c) Número de folhas (NF): contagem de folhas verdadeiras, considerando somente aquelas com mais que 2,5 cm de comprimento (GOMIDE *et al.*, 1977);
- d) Número de ramos plagiotrópicos (NP): contagem dos ramos plagiotrópicos com mais de um par de folhas;
- e) Comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (CP): em cm, medida no primeiro ramo plagiotrópico acima do colo da planta, por meio de régua graduada;
- f) Número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (NNP): contagem dos nós no primeiro ramo plagiotrópico acima do colo da planta;
- g) Número de pares de folhas do primeiro ramo plagiotrópico (NFP): contagem de todos os pares de folhas no primeiro ramo plagiotrópico acima do colo da planta, considerando apenas as folhas com mais de 2,5 cm de comprimento (GOMIDE *et al.*, 1977).

3.5.4 Características fisiológicas

As medições das características fisiológicas foram realizadas nos meses de abril, julho, outubro de 2019 e fevereiro de 2020, em duas plantas da parcela útil. As folhas utilizadas para as avaliações estavam completamente expandidas e isentas de pragas e doenças, localizadas no terço médio da planta, do terceiro ou quarto par de folhas a partir do ápice do ramo plagiotrópico.

3.5.4.1 Condutância estomática foliar ($gs - \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

Para avaliação da condutância estomática utilizou-se o porômetro (SC-1, Decagon Devices). O aparelho determina o fluxo de vapor real da folha através dos estômatos para o ambiente externo. As leituras foram feitas em dias típicos, ou seja, claros, sempre em folhas completamente expandidas, no período compreendido entre às 9 h e 11 h da manhã.

3.5.4.2 Índice de clorofila

Os índices de clorofila a (CIA), b (CIB) e total (CIT), foram obtidos através do aparelho digital ClorofiLOG, modelo CFL 1030 (Falker Automação, Porto Alegre, RS). O aparelho fornece os índices proporcionais à absorbância das clorofilas.

3.5.4.3 Potencial hídrico foliar (PH - MPa)

Determinou-se o potencial hídrico foliar no período antemanhã (3 h às 5 h da manhã), em dias sem a ocorrência de chuvas, com uma câmara de pressão tipo *Scholander* (modelo 1000, PMS Instrument Company), com operação de até 70 bar. As folhas coletadas no campo foram inseridas na câmara e, posteriormente, aplicou-se uma pressão até que ocorresse a exsudação pelo corte feito no pecíolo da folha.

3.5.5 Características anatômicas

As avaliações anatômicas foram realizadas em agosto de 2019 e fevereiro de 2020, coincidindo com a época da seca e época das chuvas, respectivamente. Em cada época, foi coletada uma folha completamente expandida, no segundo ou terceiro nó do ramo plagiotrópico, do terço médio das plantas, de cada parcela experimental. Após o procedimento, as amostras foram acondicionadas em papéis *germitest* identificados e umedecidos com água deionizada e encaminhadas para o Laboratório de Anatomia Vegetal do Café no Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

No laboratório, para obtenção das secções transversais, as folhas foram fixadas em álcool 70% (v v⁻¹) (JOHANSEN, 1940) e, após 72 horas, colocadas em nova solução de álcool 70% (v v⁻¹) para conservação.

As secções paradérmicas foliares foram obtidas no material fresco, mediante a retirada da impressão da epiderme, na face abaxial da folha, por meio do método de impressão com adesivo instantâneo universal (éster de cianoacrilato) sobre lâmina de vidro (SCHMIDT *et al.*, 2017). As características avaliadas, nas secções paradérmicas foliares, foram: número de estômatos (NE), diâmetro polar dos estômatos (DP) e diâmetro equatorial dos estômatos (DE), sendo calculados a densidade estomática (DEN - número de estômatos por mm²) e a relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE), segundo Castro, Pereira e Paiva (2009).

Para análise das secções transversais foram realizadas as etapas de desidratação em série etílica, infiltração em resina 1:1 e inclusão em metacrilato (recomendação do fabricante) do material vegetal conservado. Depois de incluído, o material vegetal foi seccionado com aproximadamente 0.8 µm de espessura, com o auxílio do micrótomo rotativo, tipo LPC para obter as secções transversais. Posteriormente, as secções foram coradas com azul de toluidina (O'BRIEN *et.al.*, 1964) e as lâminas foram montadas, usando o Entelan como meio de montagem.

Na secção dos feixes vasculares foram quantificados o número de vasos do xilema (NVX), área do floema (AF- µm), área do xilema (AX- µm), frequência de vasos do xilema (FVX) e diâmetro dos vasos do xilema (DVX- µm). Para a secção dos tecidos foliares foram avaliadas: espessura da cutícula da face adaxial (CUT- µm), espessura da epiderme da face adaxial (EAD- µm), espessura do parênquima paliçádico (PPA- µm), espessura do parênquima esponjoso (PES- µm), espessura do mesofilo (MES- µm) e espessura da epiderme da face abaxial (EAB- µm).

As lâminas foram fotografadas em microscópio óptico, modelo Olympus BX 60, acoplado à câmera digital Canon A630. Em seguida, as imagens foram analisadas no software para análise de imagens UTHSCSA-Imagetool. Para cada parcela experimental, foram feitas nove fotografias, sendo seis de lâminas contendo secções transversais (três imagens do feixe vascular e três do tecido foliar) e três de lâminas com secções paradérmicas, sempre em regiões distintas de cada secção.

3.6 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos às pressuposições da ANOVA, com objetivo de verificar a normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk.

Os dados de NDVI, crescimento vegetativo, fisiologia e anatomia foliar obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o software estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016). Quando verificado significância aplicou-se a análise de regressão para analisar o comportamento dos dados.

Com o uso do software GENES (CRUZ, 2006) foi realizada a análise multivariada dos dados. Realizou-se a análise de componentes principais, para avaliar a associação dos tratamentos com as variáveis estudadas, por intermédio de dispersão gráfica em cada época. Assim, a dispersão gráfica dos resultados foi realizada com base nos escores dos dois primeiros componentes de cada época analisada, ou seja, componente principal 1 (CP1) e componente principal 2 (CP2).

Ainda, como todas as características de crescimento avaliadas em outubro de 2019 e fevereiro de 2020 foram significativas ($p < 0,05$), realizou-se o descarte das mesmas nas duas épocas, com objetivo de selecionar uma variável resposta para cada período de avaliação de melhor representatividade da variação dos dados coletados. Para isso, utilizou-se o método proposto por Jolliffe (1972), baseado na técnica de componentes principais.

A partir das séries quinzenais, utilizando-se a média dos valores obtidos de NDVI, foi feita a Análise de Séries Temporais. Além disso, empregou-se a análise de correlação de Pearson entre os valores de NDVI com altura, número de folhas e clorofila total em abril, julho e outubro de 2019 e fevereiro de 2020. Os dados de NDVI utilizados para essas análises foram os últimos de cada mês referido.

4 RESULTADOS

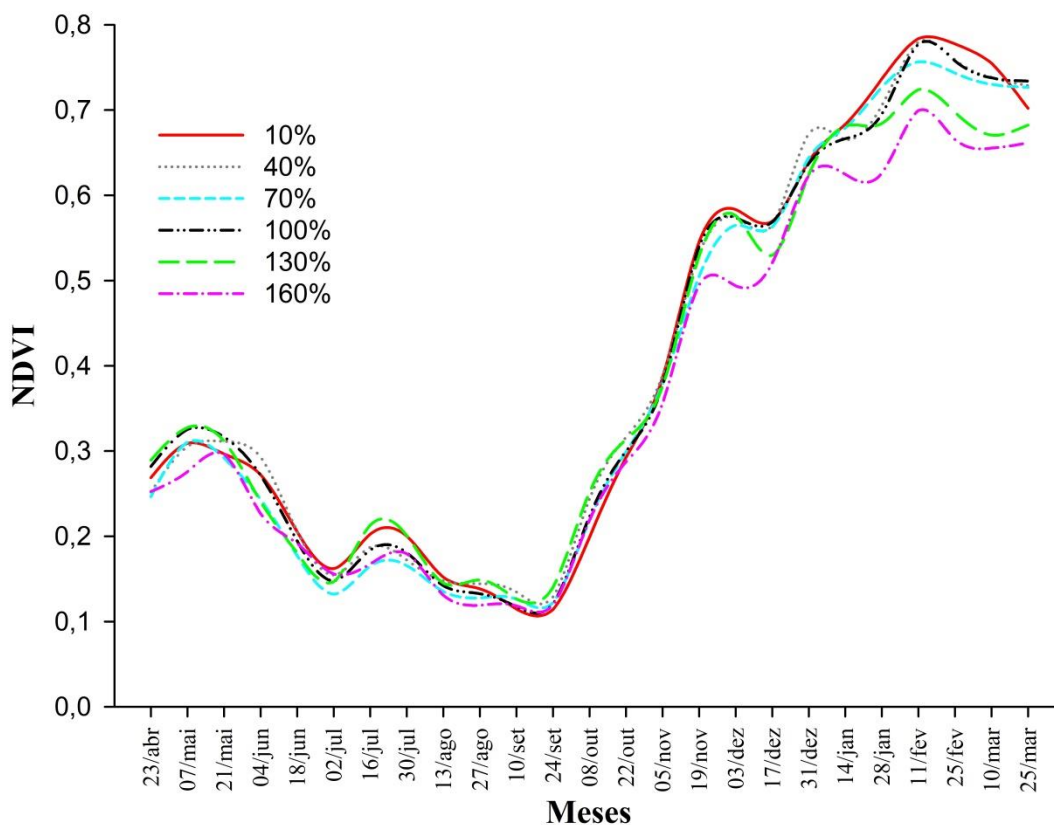
4.1 Comportamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Nas 25 épocas avaliadas não houve efeito significativo ($p>0,05$) no NDVI de cafeeiros em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K em sua formação (TABELAS 1, 2, 3, 4 e 5, APÊNDICE A).

O perfil temporal do NDVI de cafeeiro em formação submetidos a diferentes níveis de adubação com N, P e K (FIGURA 1) apresentou comportamento associado com as variações climáticas (FIGURA 2), ao longo das avaliações, principalmente com a precipitação e temperaturas médias mensais.

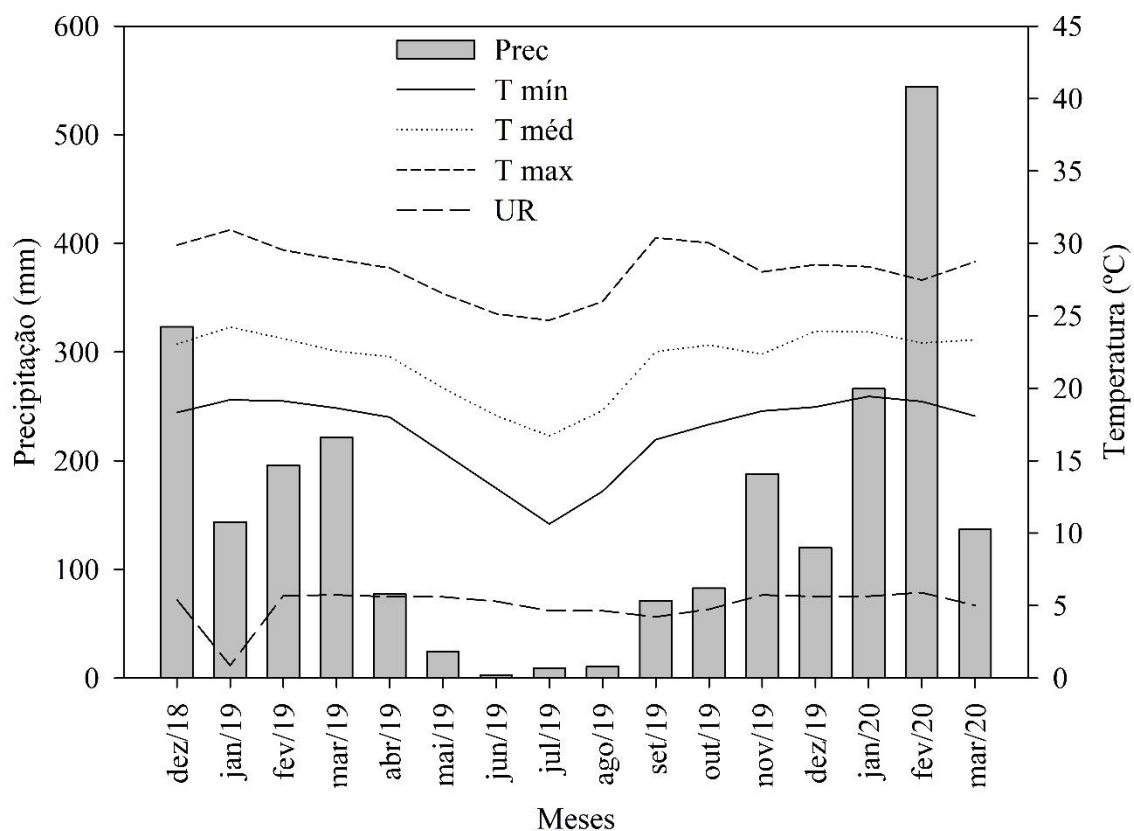
Fonte: Do autor (2020).

Figura 1 - Série temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente ao período de abril de 2019 a março de 2020. Lavras - MG, 2020.



Fonte: Do autor (2020).

Figura 2 - Representação gráfica das variáveis meteorológicas registradas, mensalmente, em Lavras - MG, no período dezembro 2018 a março de 2020. Lavras - MG, 2020.



Fonte: Do autor (2020).

Na primeira avaliação, em abril de 2019, verificou-se um NDVI de 0,27, 0,25, 0,25, 0,28, 0,29 e 0,25 para os tratamentos com 10%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160% da adubação padrão de NPK, respectivamente. Notou-se ainda, no decorrer desse mês, até o início de maio de 2019, uma crescente no valor de NDVI das plantas de café (FIGURA 1).

Em maio de 2019, independentemente do nível de adubação empregado, houve uma queda no NDVI do cafeeiro, provavelmente relacionada às baixas precipitações e diminuição das temperaturas médias mensais registradas no período até setembro de 2019. Ao final desse último mês referido, verifica-se os menores valores de NDVI em todos os tratamentos durante a condução do experimento. Após atingir o ponto mínimo do valor de NDVI no final de setembro de 2019, percebe-se incremento nos valores até a primeira quinzena de fevereiro de 2020, período no qual ocorreu o retorno das precipitações e o aumento das temperaturas médias mensais (FIGURAS 1 e 2).

Ainda, na primeira quinzena de fevereiro de 2020, os valores de NDVI atingiram o seu ponto máximo em todos os tratamentos e, esse fato, foi coincidente com o mês mais chuvoso durante a condução do experimento, o que indica a relação entre a precipitação e os valores

médios de NDVI. A partir desse ponto, observa-se uma queda nos valores de NDVI até o final de março de 2020, resultado esse provavelmente ligado a diminuição da precipitação e temperatura média mensal a partir dessa época. Além disso, é importante ressaltar a queda acentuada do tratamento com 10% da dose recomendada a partir da segunda quinzena de fevereiro de 2020 (FIGURAS 1 e 2).

Na última avaliação, realizada no final de março de 2020, os maiores valores de NDVI (0,73) foram observados nos tratamentos com 40%, 70% e 100% em comparação aos tratamentos com 10% (0,70), 130% (0,68) e 160% (0,66) da dose padrão de NPK. Ao longo dos 11 meses de avaliação o NDVI do cafeeiro variou de 0,11 a 0,78 (FIGURA 1).

Também, nota-se tendência de aumento das leituras do NDVI em relação ao crescimento da cultura e, independentemente do nível de adubação empregado, os valores do perfil temporal do NDVI comportam-se de forma coincidente nos períodos de avaliação (FIGURAS 1 e 2).

4.2 Crescimento vegetativo do cafeeiro

As características de crescimento vegetativo altura (ALT), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF), números de ramos plagiotrópicos (NP), comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (CP), número de nós do primeiro ramo plagiotrópico (NNP) e número de folhas no primeiro ramo plagiotrópico (NNF) em abril e julho de 2019 não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K na formação do cafeeiro (TABELAS 6 e 7, APÊNDICE A). Para outubro de 2019 e fevereiro de 2020 observou-se efeito significativo ($p < 0,05$) dos tratamentos em todas características de crescimento do cafeeiro (TABELAS 8 e 9, APÊNDICE A).

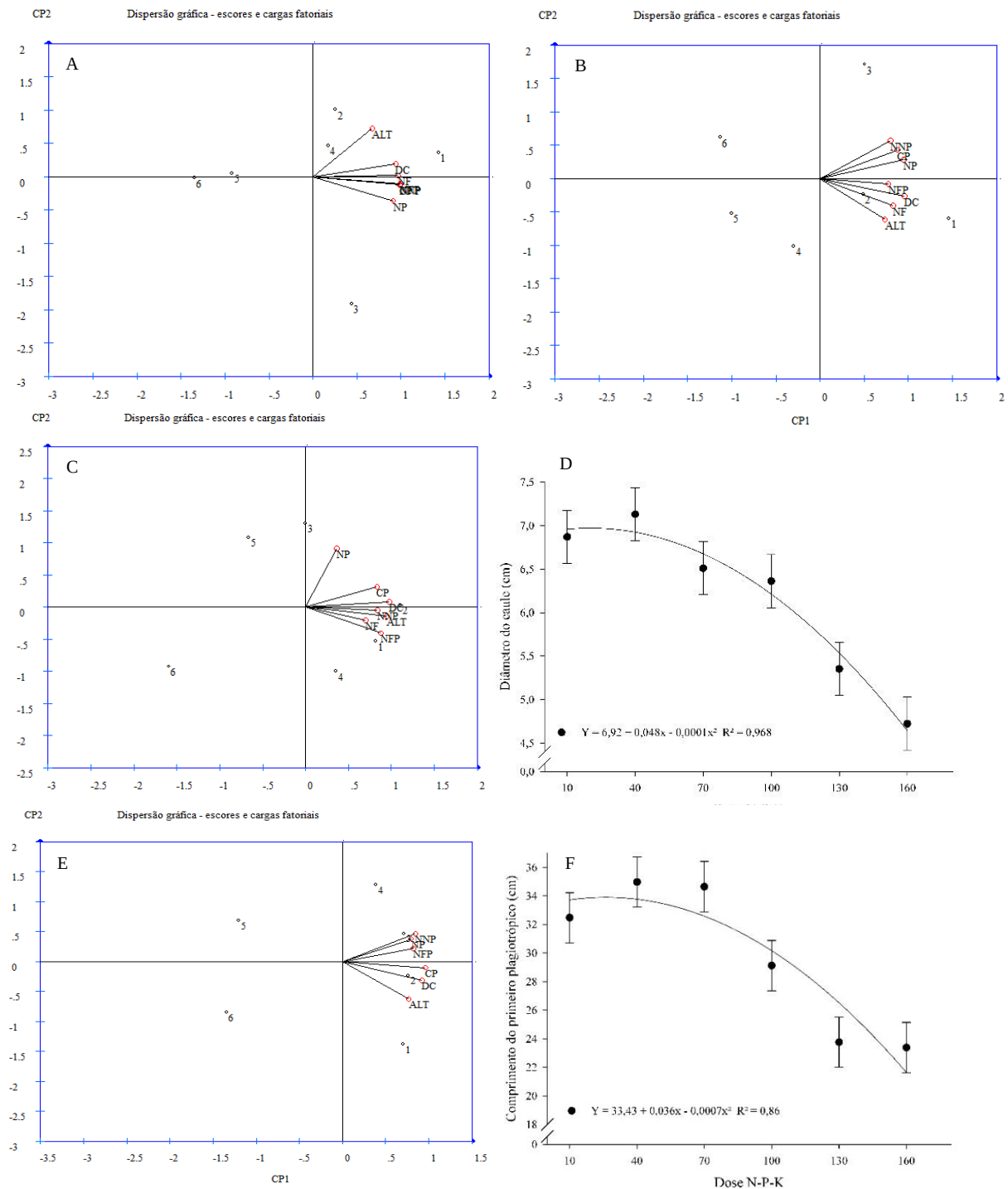
Na análise de componentes principais, as características que explicaram mais de 80% da variabilidade existente entre as amostras representativas dos seis tratamentos foram diâmetro de caule e altura em abril de 2019, número de folhas no primeiro ramo plagiotrópico e altura em julho de 2019, diâmetro de caule e números de ramos plagiotrópicos em outubro de 2019 e, comprimento do primeiro ramo plagiotrópico e altura em fevereiro de 2020 (FIGURAS 3A, B, C e E, respectivamente).

Assim, a dispersão gráfica dos resultados foi feita com base nos escores dos dois primeiros componentes. Ainda, por meio do método de descarte das variáveis foram selecionadas as variáveis diâmetro de caule em outubro de 2019 e comprimento do primeiro ramo plagiotrópico em fevereiro de 2020, as quais correspondem a 66,22% e 73,13% da

variabilidade existente entre as amostras representativas dos seis tratamentos, respectivamente. Portanto, realizou-se a análise de regressão para as características selecionadas.

O diâmetro de caule em outubro de 2019 e comprimento do primeiro ramo plagiotrópico em fevereiro de 2020 apresentaram comportamento quadrático, atingindo os pontos máximos em 21,00% e 25,71% da adubação padrão com N, P e K, com os valores de 6,97 mm 33,89 cm, respectivamente (FIGURA 3D e F). À vista disso, observa-se em outubro de 2019, redução do diâmetro de caule a partir da dose 21,00%, e em fevereiro de 2020 diminuição do comprimento do primeiro ramo plagiotrópico a partir da dose 25,71% até 160% da adubação padrão com N, P e K.

Figura 3 - Dispersão gráfica em relação ao primeiro (CP1) e segundo componente (CP2) com base na altura (ALT), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF), números de ramos plagiotrópicos (NP), comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (CP), número de nós do primeiro ramo plagiotrópico (NNP) e número de folhas no primeiro ramo plagiotrópico (NNF) em abril de 2019 (A), julho de 2019 (B), outubro de 2019 (C) e fevereiro de 2020 (E), diâmetro de caule em outubro em 2019 (D) e comprimento do primeiro ramo plagiotrópico em fevereiro (F) de cafeeiros em fase de formação. Lavras - MG, 2020.



1, 2, 3, 4, 5 e 6 = 10%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160% da adubação padrão recomendada de N, P e K, respectivamente.

Fonte: Do autor (2020).

De acordo com a dispersão gráfica observa-se um comportamento semelhante das variáveis de crescimento (FIGURA 3A, C e E) em abril e outubro de 2019 e, fevereiro de 2020, onde os tratamentos de 10%, 40%, 70% e 100% foram agrupados mais próximos das variáveis de crescimento, enquanto os tratamentos 130% e 160% reuniram-se mais distantes. Em julho de 2019, os tratamentos 10%, 40% e 70% reuniram-se próximos das variáveis de crescimento, enquanto os tratamentos 100%, 130% e 160% reuniram-se distantes.

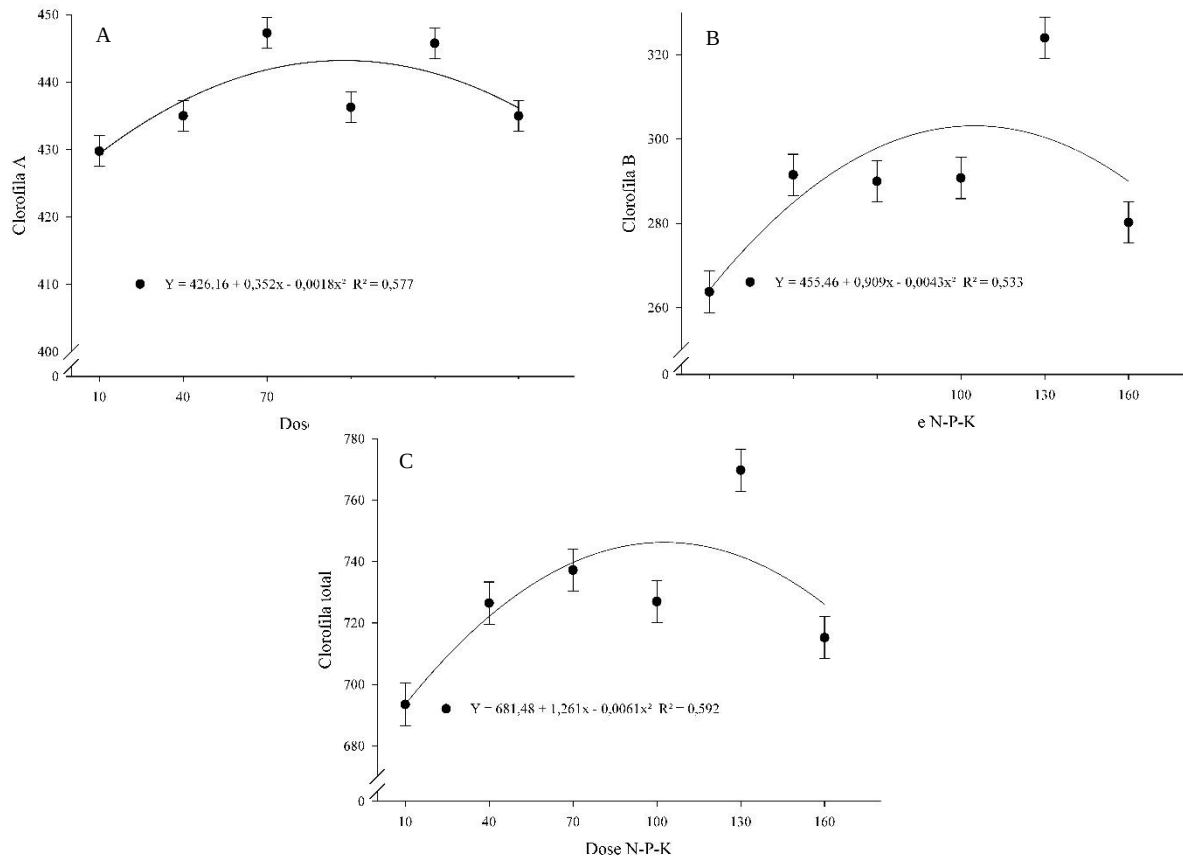
Assim, nota-se que as doses até o nível recomendado de N, P e K agruparam-se próximas as características de crescimento, enquanto as doses superiores ao nível recomendado para esses nutrientes comportaram-se de forma contrária.

4.3 Fisiologia

Para as características condutância estomática (gs) e potencial hídrico foliar (PH) não houve efeito significativo ($p > 0,05$) dos diferentes níveis de adubação com N, P e K em fase de formação do cafeeiro (TABELA 10, 11, 12 e 13 - APÊNDICE A) em nenhuma das épocas avaliadas.

Nas características de índice de ‘clorofila A’ (CIA), ‘clorofila B’ (CIB) e ‘clorofila total’ (CIT) verificou-se efeito significativo ($p < 0,05$) (TABELA 11 - APÊNDICE A) dos tratamentos, com comportamento quadrático (FIGURA 4), no qual os pontos de máxima foram atingidos em 97,50%, 104,86% e 102,70% da adubação padrão, respectivamente. Os valores máximos encontrados foram 443,18 para clorofila a, 303,13 para clorofila b e 746,25 para clorofila total.

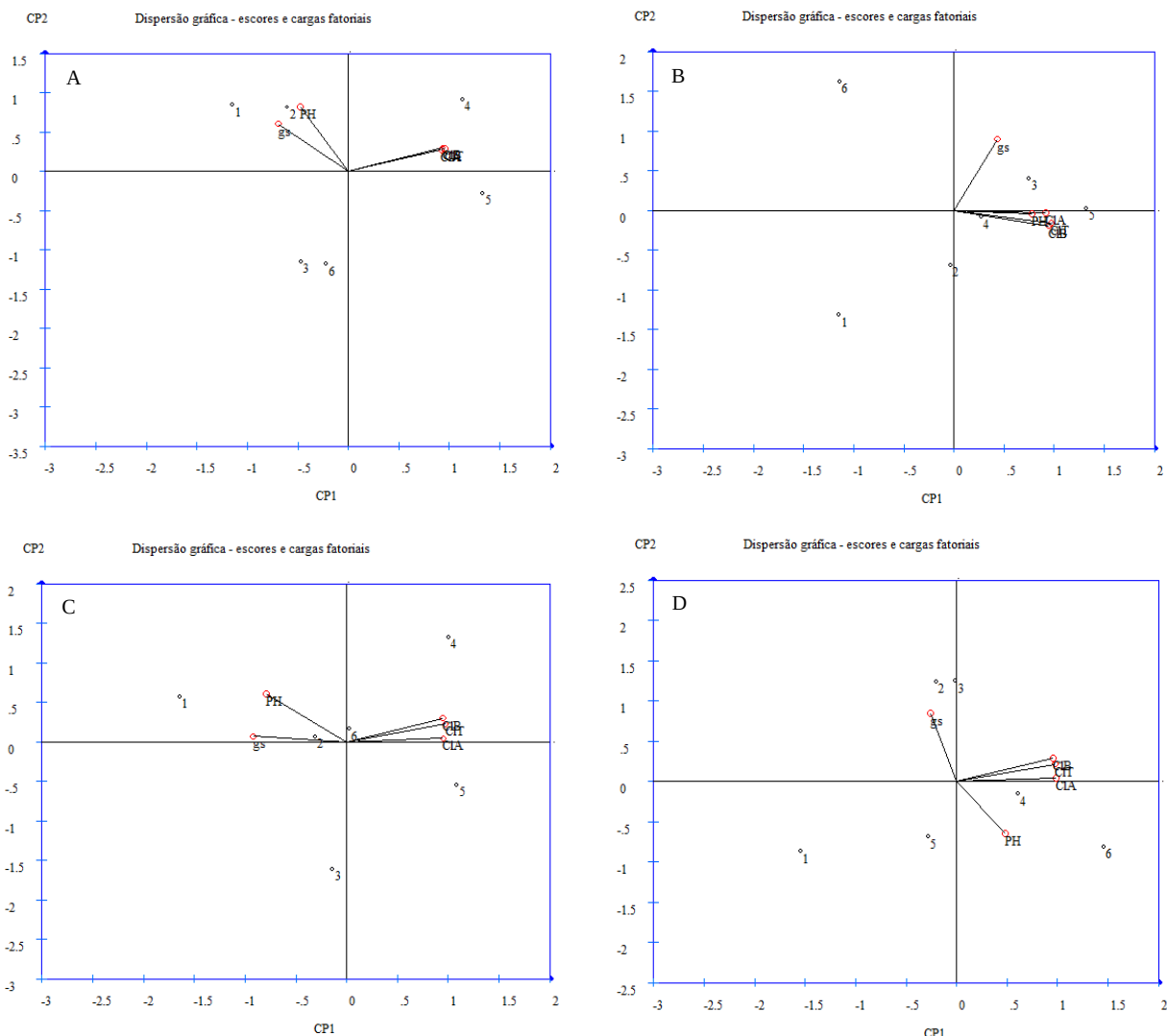
Figura 4 - Índice de clorofila a (A), clorofila b (B) e clorofila total (C) de cafeeiros com diferentes níveis de adubação com N, P e K em fase de formação em julho de 2019. Lavras - MG, 2020.



Fonte: Do autor (2020).

Na análise de componentes principais para as análises fisiológicas (FIGURA 5), as variáveis que explicaram mais de 80,00% da variabilidade existente entre as amostras representativas dos seis tratamentos foram clorofila total e potencial hídrico foliar em abril de 2019, clorofila total e condutância estomática em julho de 2019, clorofila total e potencial hídrico foliar em outubro de 2019 e, clorofila a e condutância estomática em fevereiro de 2020.

Figura 5 - Dispersão gráfica em relação ao primeiro (CP1) e segundo componente (CP2) com base na condutância estomática (gs), clorofila a (CIA), clorofila b (CIB), clorofila total (CLT) e potencial hídrico foliar (PH) de cafeeiros com diferentes níveis de adubação com N, P e K em fase de formação em abril (A), julho (B) e outubro de 2019 (C) e fevereiro de 2020 (D). Lavras - MG, 2020.



1, 2, 3, 4, 5 e 6 = 10%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160% da adubação padrão recomendada de N, P e K, respectivamente.

Fonte: Do autor (2020).

De acordo com a dispersão gráfica observa-se que em abril, julho e outubro de 2019 os tratamentos 100% e 130% foram agrupados perto do índice de clorofila a, clorofila b, e clorofila total, enquanto, em fevereiro de 2020 os tratamentos 100% e 160% agruparam com maior proximidade dessas variáveis. Já os tratamentos 10% e 40% não tiveram proximidade com os índices de clorofila em nenhuma das épocas avaliadas.

Ainda, no gráfico de dispersão observa-se em abril e outubro de 2019 que a condutância estomática e o potencial hídrico foliar apresentaram comportamento semelhante, no qual os tratamentos 10% e 40% reuniram-se próximos. No mês julho de 2019 e fevereiro de 2020 o

tratamento 70% teve maior proximidade com a condutância estomática e os tratamentos 100% e 130% perto do potencial hídrico foliar.

Visto o exposto na dispersão gráfica, os tratamentos com o nível de adubação recomendado de N, P e K e acima dele agruparam-se próximos aos índices de clorofila a, clorofila b e clorofila total nas épocas avaliadas, e os menores níveis de adubação reuniram-se distantes dessas características. Ainda, nota-se a tendência de os menores níveis de adubação ficarem próximos das características condutância estomática e o potencial hídrico foliar.

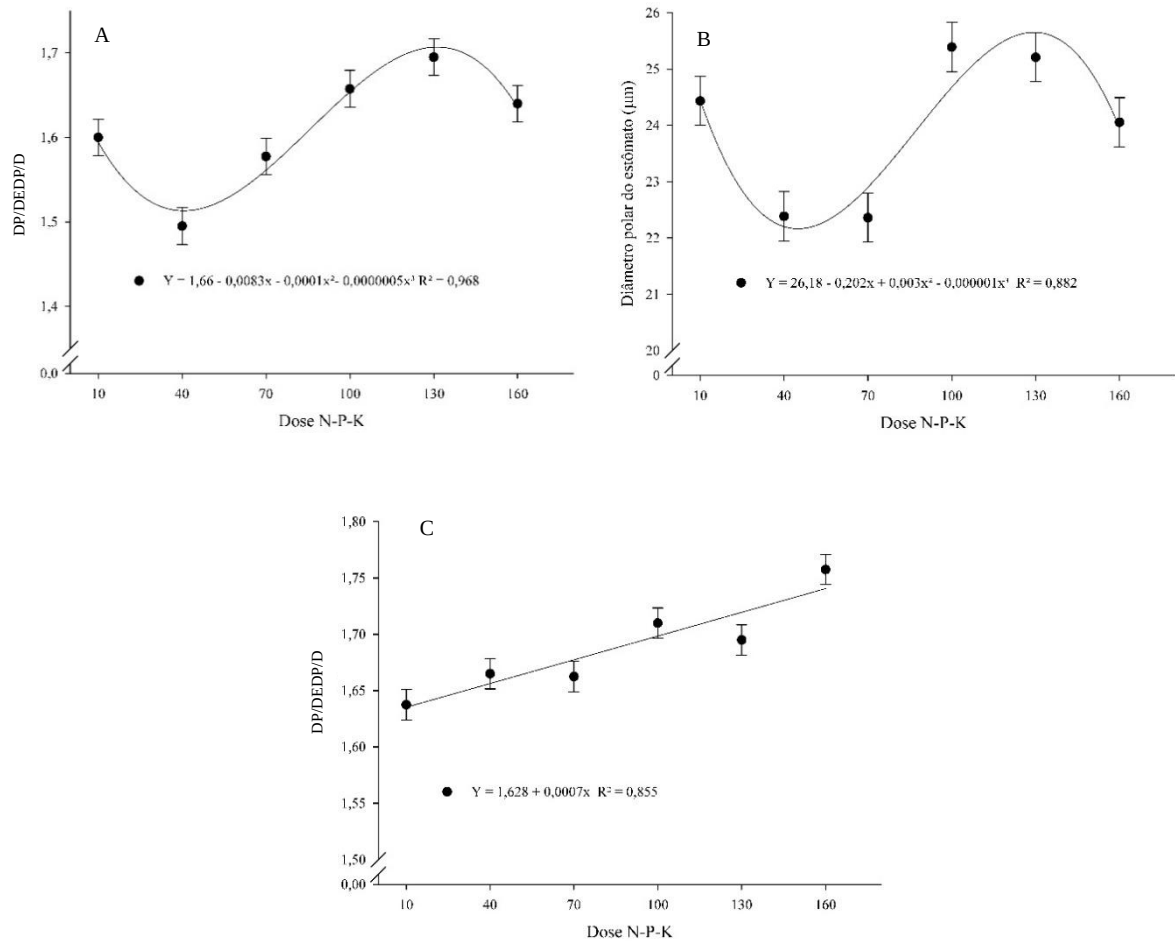
4.4 Anatomia foliar

Na secção paradérmica foliar de cafeeiros submetidos a diferentes níveis de N, P e K na formação notou-se efeito significativo ($p < 0,05$) no diâmetro polar dos estômatos (DP) e a relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) em agosto de 2019 e em fevereiro de 2020 a relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) (TABELA 14 e 15 – APÊNDICE A). Não se observou efeito significativo ($p > 0,05$) dos tratamentos no número de estômatos (NE), diâmetro equatorial estômatos (DE) e densidade estomática (DEN) em nenhuma das épocas avaliadas.

Para o diâmetro polar e relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos em agosto de 2019 (FIGURA 4 A e B) observou-se efeito cúbico no comportamento das variáveis, sendo os pontos de máxima encontrados em 122,39% e 138,62% da adubação, respectivamente. Os pontos de mínima do diâmetro polar dos estômatos e relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos foram encontrados em 45,88% e 40,04% da adubação, respectivamente.

Em fevereiro de 2020 a relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos apresentou resposta linear e diretamente proporcional ao aumento dos níveis de adubação com N, P e K (FIGURA 4C). Dessa forma, a máxima relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos ocorreu no tratamento de 160% e a mínima no de 10%.

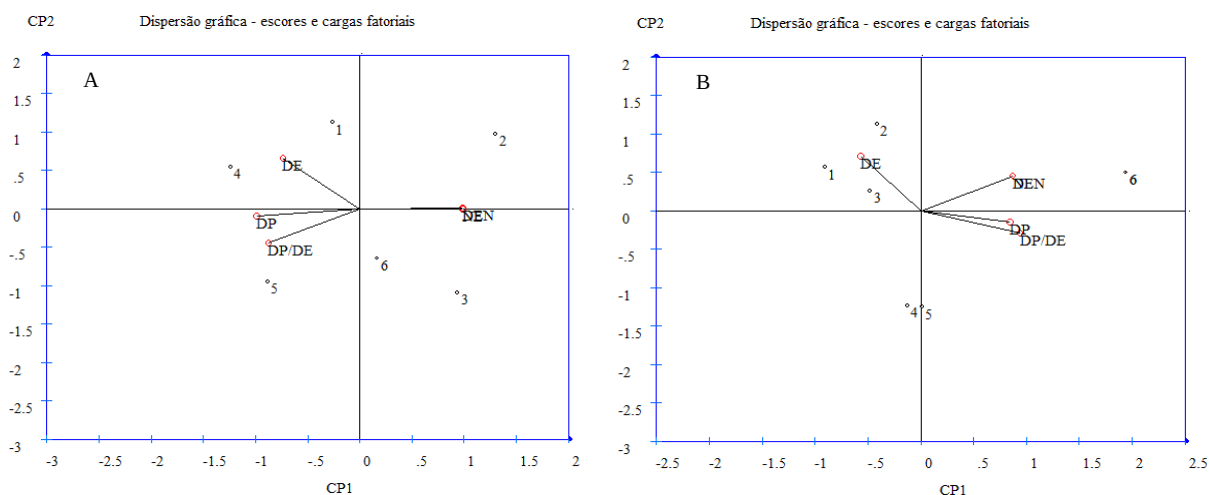
Figura 6 - Relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) (A), diâmetro polar dos estômatos (B) em agosto de 2019 e relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) em fevereiro de 2020 de cafeeiros com diferentes níveis de adubação com N, P e K em fase de formação. Lavras - MG, 2020.



Fonte: Do autor (2020).

A dispersão dos seis tratamentos, em função da análise de componentes principais para as secções paradérmicas nos meses de agosto de 2019 e fevereiro de 2020 encontra-se na Figura 7, onde verificou-se que as variáveis diâmetro polar dos estômatos e diâmetro equatorial dos estômatos na primeira época e, relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos e diâmetro equatorial na segunda época explicaram cerca de 80% da variabilidade existente entre as amostras representativas.

Figura 7 - Dispersão gráfica em relação ao primeiro (CP1) e segundo componente (CP2) com base no número de estômatos (NE), diâmetro polar dos estômatos (DP), diâmetro equatorial dos estômatos (DE), densidade estomática (DEN) e relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) de cafeeiros com diferentes níveis de adubação com N, P e K em fase de formação em agosto de 2019 (A) e fevereiro de 2020 (B). Lavras - MG, 2020.



1, 2, 3, 4, 5 e 6 = 10%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160% da adubação padrão recomendada de N, P e K, respectivamente.

Fonte: Do autor (2020).

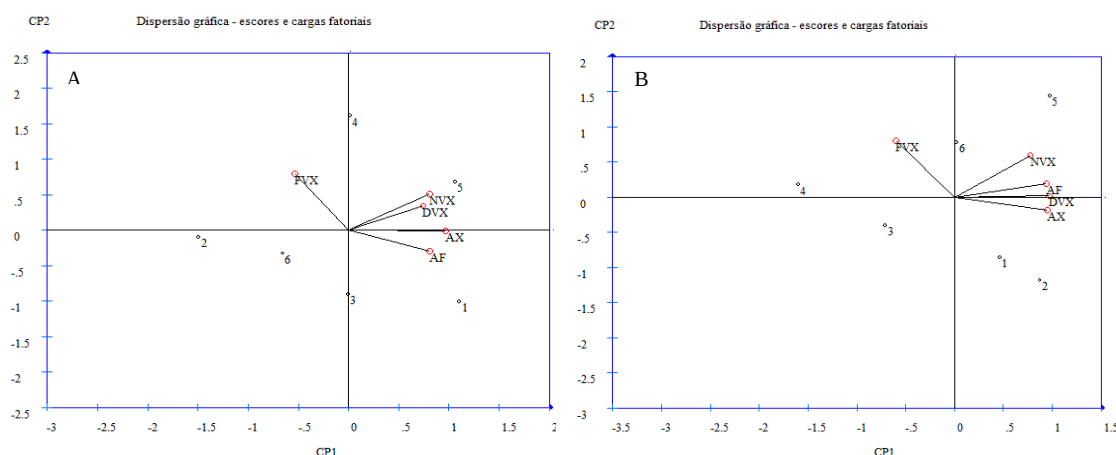
No gráfico de dispersão em agosto de 2019 nota-se que os tratamentos 40%, 70% e 160% foram agrupados perto do número de estômatos e densidade estomática, enquanto os tratamentos 10%, 40% e 130% reuniram-se oposto a eles e nas proximidades do diâmetro polar dos estômatos, diâmetro equatorial dos estômatos e da relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos. Já em fevereiro de 2020 observa-se o tratamento 160% foi agrupado próximo das variáveis número de estômatos, diâmetro polar dos estômatos, densidade estomática e relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos e contrariamente, os tratamentos 10%, 40% e 70% próximos da densidade estomática. Nessa mesma época de avaliação, verifica-se que os tratamentos 100% e 130% foram agrupados distantes das variáveis analisadas.

Para a secção dos feixes vasculares não houve efeito significativo ($p > 0,05$) no número de vasos do xilema (NVX), área do floema (AF), área do xilema (AX), frequência de vasos do xilema (FVX) e diâmetro dos vasos do xilema (DVX) de cafeeiros em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K em fase de formação em nenhuma das épocas avaliadas (TABELA 16 e 17, APÊNDICE A).

Na análise de componentes principais para as secções dos feixes vasculares nos meses de agosto de 2019 e fevereiro de 2020, observa-se na Figura 8, que as variáveis área do xilema

e frequência de vasos do xilema na primeira época e, diâmetro dos vasos do xilema e frequência de vasos do xilema na segunda época explicaram mais de 80% da variabilidade existente entre as amostras representativas dos seis tratamentos.

Figura 8 - Dispersão gráfica em relação ao primeiro (CP1) e segundo componente (CP2) com base no número de vasos do xilema (NVX), área do floema (AF), área do xilema (AX), frequência de vasos do xilema (FVX) e diâmetro dos vasos do xilema (DVX) de cafeeiros com diferentes níveis de adubação com N, P e K em fase de formação em agosto de 2019 (A) e fevereiro de 2020 (B). Lavras - MG, 2020.



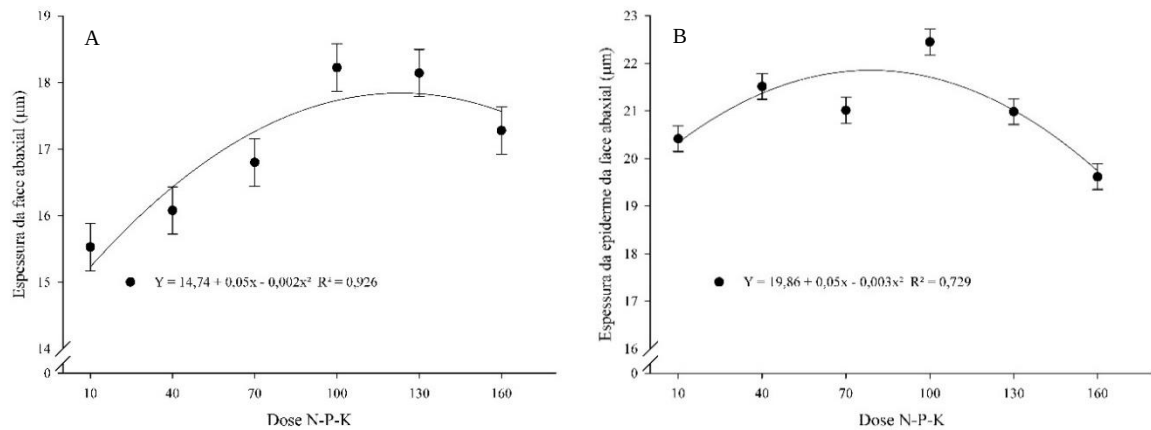
1, 2, 3, 4, 5 e 6 = 10%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160% da adubação padrão recomendada de N, P e K, respectivamente.

Fonte: Do autor (2020).

Nota-se em agosto de 2019, que o tratamento 130% foi agrupado próximo do número de vasos do xilema e diâmetro de vasos do xilema, e os tratamentos 10% e 40% próximos da área do xilema e área do floema, enquanto nenhum tratamento reuniu-se perto da frequência de vasos do xilema. Em fevereiro de 2020, os tratamentos 130% e 160% agruparam-se próximos do número de vasos do xilema, área do floema e diâmetro dos vasos do xilema, enquanto os tratamentos 10% e 40% tiveram maior proximidade com a área do xilema. Já o tratamento 100% agrupou-se junto com a frequência de vasos do xilema.

Para a espessura dos tecidos foliares nota-se efeito significativo ($p < 0,05$) dos diferentes níveis de adubação com N, P e K na espessura da epiderme abaxial (EAB) do cafeeiro em formação nas duas épocas de avaliação (TABELA 18 e 19, APÊNDICE A). Em agosto de 2019 e fevereiro de 2020 (Figura 9), os pontos da máxima da espessura da epiderme abaxial foram encontrados na dose de 123,06% e 78,87% da adubação padrão com N, P e K, com as espessuras de 17,84 μm e 18,26 μm , respectivamente.

Figura 9 - Espessura da epiderme abaxial (EAB) em agosto de 2019 (A) em fevereiro de 2020 (B) de cafeeiros com diferentes níveis de adubação com N, P e K em fase de formação. Lavras - MG, 2020.

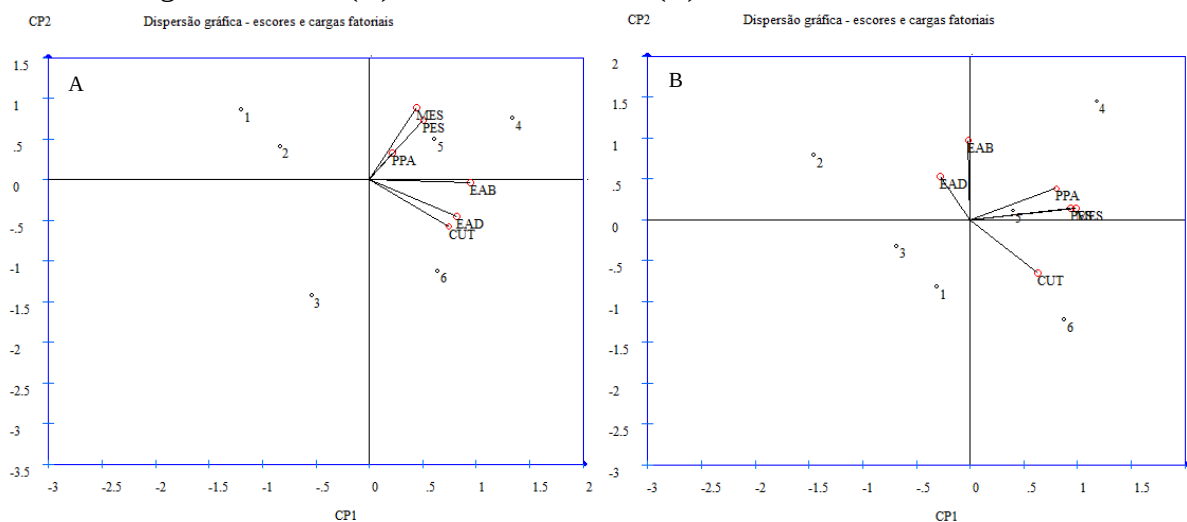


Fonte: Do autor (2020).

As outras variáveis dos tecidos foliares como espessura da cutícula (CUT), espessura da epiderme adaxial (EAD), espessura do parênquima paliçádico (PPA), espessura do parênquima esponjoso (PES) e espessura do mesofilo (MES) não foram significativas ($p > 0,05$) em função dos tratamentos em nenhuma das épocas avaliadas (TABELA 18 e 19, APÊNDICE A).

Na análise de componentes principais para os tecidos foliares nos meses de agosto de 2019 e fevereiro de 2020 (FIGURA 10), observa-se que as variáveis espessura da epiderme abaxial e espessura do mesofilo na primeira e segunda época explicaram mais de 80% da variabilidade existente entre as amostras representativas dos seis tratamentos.

Figura 10 - Dispersão gráfica em relação ao primeiro (CP1) e segundo componente (CP2) com base na espessura da cutícula (CUT), espessura da epiderme adaxial (EAD), espessura do parênquima paliçádico (PPA), espessura do parênquima esponjoso (PES) e espessura do mesofilo (MES) e espessura da epiderme abaxial (EAB) de cafeeiros com diferentes níveis de adubação com N, P e K em fase de formação em agosto de 2019 (A) e fevereiro de 2020 (B). Lavras - MG, 2020.



Fonte: Do autor (2020).

Na dispersão gráfica das variáveis dos tecidos foliares em agosto de 2019, os tratamentos 100% e 130% foram agrupados próximos a espessura do parênquima esponjoso, espessura do parênquima paliçádico e espessura do mesofilo, enquanto o tratamento 160% teve maior proximidade da espessura da epiderme adaxial, espessura da epiderme abaxial e espessura da cutícula. Já os tratamentos 10%, 40% e 70% foram agrupados opostos dessas variáveis. Na segunda época, em fevereiro de 2020 os tratamentos 100% e 130% reuniram-se próximos das características espessura do parênquima esponjoso, espessura do parênquima paliçádico e espessura do mesofilo, o tratamento 40% agrupou-se junto a espessura da epiderme adaxial e espessura da epiderme abaxial e, o tratamento 160% perto da espessura da cutícula.

4.5 Correlação de Pearson

Observou-se correlação significativa ($p < 0,05$) positiva entre o NDVI e altura de plantas nos meses de abril ($r = 0,58$) e julho ($r = 0,41$) de 2019 e, fevereiro ($r = 0,43$) de 2020. No entanto, não foi constatada correlação significativa entre as variáveis analisadas em outubro de 2019 ($r = 0,20$) (TABELA 5). Esses resultados obtidos em três épocas de avaliação indicam relação entre o NDVI e altura de plantas de cafeeiro, ou seja, o NDVI é uma opção válida para avaliação de crescimento vegetativo da cultura.

Tabela 5 - Coeficiente de correlação de Pearson para altura e sua relação com o NDVI. Lavras - MG, 2020.

Variável	Altura (cm)			
	Abril 2019	Julho 2019	Outubro 2019	Fevereiro 2020
	r	R	r	r
NDVI	0,58*	0,41*	0,20	0,43*

* Significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2020).

Para correlação entre as variáveis número de folhas e NDVI nota-se correlação significativa ($p < 0,05$) positiva entre o NDVI e número de folhas ($r = 0,55$) somente em fevereiro de 2020 (TABELA 6).

Tabela 6 - Coeficiente de correlação de Pearson para número de folhas e sua relação com o NDVI. Lavras - MG, 2020.

Variável	Número de folhas			
	Abril 2019	Julho 2019	Outubro 2019	Fevereiro 2020
	r	R	r	r
NDVI	0,28	0,35	0,22	0,55*

Significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2020).

Não foram constatadas correlações significativas ($p > 0,05$) do índice de CIT com o NDVI para os períodos avaliados (TABELA 7).

Tabela 7 - Coeficiente de correlação de Pearson para clorofila total (CIT) e sua relação com o NDVI. Lavras - MG, 2020.

Variável	Clorofila total			
	Abril 2019	Julho 2019	Outubro 2019	Fevereiro 2020
	r	R	r	r
NDVI	0,23	0,16	0,21	-0,01

Fonte: Do autor (2020).

5 DISCUSSÃO

Não houve diferenças significativas nos valores de NDVI em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K na formação do cafeeiro em nenhuma das épocas avaliadas. Resultados diferentes ao desse trabalho foram encontrados por Reznick (2017) na cultura do trigo, no qual notou uma tendência de aumento dos valores de NDVI com aumento das doses de N aplicadas. Em outro estudo com a mesma cultura, foram constatadas que as leituras de NDVI obtidas com sensores ativo e passivo também foram influenciados pelas doses de N (RISSINI *et al.*, 2015). Ainda, com os cereais de inverno trigo, triticale e cevada Povh *et al.* (2008) relataram resposta às aplicações de doses crescentes de N, pelo aumento nas leituras do NDVI.

O perfil médio de NDVI, quanto aos diferentes níveis de adubação com N, P e K na formação do cafeeiro demonstrou resposta associada as variações climáticas. Nessa linha, os maiores índices de vegetação observados foram em meses com maiores precipitações acompanhada de temperaturas médias mais elevadas, que no caso desse experimento, compreenderam os meses de novembro de 2019 a fevereiro de 2020.

Nota-se a partir da primeira avaliação, em abril de 2019, um incremento nos valores de NDVI até o começo de maio de 2019 e, em seguida, uma queda nos valores de NDVI até o final de setembro de 2019. Esse comportamento está associado diretamente a diminuição da precipitação e queda na temperatura média no período referido e, dessa forma, é possível que o crescimento inicial do cafeeiro ocorreu de forma lenta em virtude das condições climáticas na área experimental.

Gausman *et al.* (1969) relataram que após o período das chuvas, caracterizado por uma boa disponibilidade hídrica aos cafeeiros, a redução do NDVI ocorre em função da redução da reflectância no infravermelho, sendo marcado pelo estresse osmótico da planta. Além disso, a redução no NDVI nesse experimento pode estar relacionada com a diminuição no número de folhas em todos os tratamentos ocasionada por uma menor precipitação entre maio e setembro de 2019.

Amaral, Rena e Amaral (2006) relataram que a diminuição nas taxas de crescimento vegetativo de cafeeiros estão associadas com as oscilações da temperatura mínima do ar, que em todos tratamentos empregados atingiram taxas mínimas nos meses de maio e junho, quando foram registradas as menores temperaturas no local do experimento. Ainda, os mesmos autores, citaram que o crescimento dos ramos e das folhas acompanhou as curvas de temperatura, sobretudo as de temperaturas média e mínima. Barros *et al.* (1997) descreveram um crescimento

reduzido de cafeeiros, nos meses mais frios, em função de seus efeitos na fotossíntese das plantas, assim como baixas temperaturas mínimas associadas à deficiência hídrica (FERREIRA *et al.*, 2013).

Com a retomada das chuvas e o aumento das temperaturas médias ao final de setembro de 2019 observou um incremento nos valores médios do NDVI em todos os tratamentos até o mês de fevereiro de 2020, o que indica mais uma vez a associação dessa característica com as variáveis climáticas. Esse último mês referido foi o mais chuvoso durante a condução do experimento, assim explica-se os maiores valores de NDVI encontrados.

Santos *et al.* (2014) em café e Reynolds *et al.* (2018) em videira relataram o comportamento espectral dessas culturas e observaram a relação do NDVI com o teor de água no solo. Na cultura do café, Volpato *et al.* (2013) demonstraram correlação negativa entre as medições de NDVI e déficit hídrico.

De acordo com Souza (2015), o déficit hídrico afetou as características fisiológicas avaliadas no experimento com café e, nesse sentido, após esse período seco, caracterizado por baixa disponibilidade hídrica, o retorno das condições favoráveis à fisiologia e ao crescimento do cafeeiro acarretou em aumentos no NDVI do dossel, sendo observadas alterações visíveis nos meses de setembro e outubro, corroborando com os resultados da série temporal desse experimento, onde aconteceu aumento nas leituras do NDVI nos mesmos meses.

Visto o exposto, fica evidente a influência do conteúdo de água no vigor das plantas, onde as mesmas com disponibilidade hídrica equilibrada possuem melhores condições para seu crescimento vegetativo e, conseqüentemente, maiores valores de NDVI.

Na série temporal do presente trabalho nota-se a queda nas leituras do NDVI do tratamento com nível de 10% da adubação padrão com N, P e K a partir da segunda quinzena de fevereiro de 2020 até a última avaliação em março de 2020. Esse comportamento pode estar relacionado com a alta demanda da planta de café por nutrientes após um período com boa disponibilidade hídrica, no qual houve um incremento expressivo no vigor vegetativo dessas plantas e com isso, esse tratamento não conseguiu suprir nutricionalmente as plantas da mesma forma que os demais tratamentos a partir dessa época.

Na série temporal observa-se incremento no NDVI final em relação ao inicial do cafeeiro, sendo isso, associado ao crescimento da cultura no decorrer desse tempo. Pias *et al.* (2017) expuseram que os valores de NDVI aumentaram ao longo do período vegetativo do feijoeiro, sendo que este resultado está relacionado ao aumento de área foliar da cultura (BRAGAGNOLO *et al.*, 2013). Na mesma linha, Povh *et al.* (2008) expuseram que as leituras realizadas no início do ciclo do trigo apresentaram valores absolutos do NDVI mais baixos, os

quais aumentaram com o desenvolvimento das plantas, indicando assim, a relação entre o crescimento da cultura em relação aos valores de NDVI.

Nesse experimento observou-se correlação positiva entre o NDVI e altura de plantas de café em três das quatro épocas de avaliação, e uma correlação positiva entre o NDVI e o número de folhas na última época avaliada. De acordo com Silva (2019), o NDVI é correlacionado com a altura de plantas e a produtividade do café por captar o enfolhamento das plantas e consequentemente, com um maior enfolhamento as plantas apresentam maior área fotossintética e, possivelmente, um incremento no crescimento e a garantia de uma produção mais elevada. Ainda, segundo Jiang *et al.* (2003), o crescimento das culturas pode ser monitorado pelo NDVI, assim como o rendimento da colheita pode ser previsto com a ajuda desse aparelho.

Portanto, como no presente trabalho foi constatada correlação positiva entre os valores de NDVI e altura de plantas em três épocas de avaliação, portanto, é possível afirmar que o NDVI é uma ferramenta útil para avaliação de características de crescimento como a altura, além de indicar o vigor vegetativo das plantas de forma precisa. Para a característica número de folhas o NDVI não demonstrou ser uma ferramenta precisa.

Não houve correlação significativa do NDVI com o índice de clorofila total em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Diferente desse resultado, Pias *et al.* (2017) mostraram relação positiva entre o teor de clorofila e NDVI, na cultura do feijão. Silva *et al.* (2015) observaram correlação negativa entre NDVI e conteúdo de clorofila total na cultura do café e, ainda afirmaram nesse trabalho, que geralmente essa correlação é positiva, no entanto, o resultado observado pode estar relacionado com a amostragem das folhas para análise de clorofila no campo.

Neste experimento, é possível inferir que o crescimento vegetativo do cafeeiro na formação não respondeu aos diferentes níveis de adubação com N, P e K em abril e junho de 2019. Esse fato pode ser justificado pelas condições do solo previamente a implantação, onde o mesmo encontrava-se corrigido e com os atributos químicos equilibrados, apresentando o teor de P na classe ‘bom’ e o K na classe ‘média’, segundo Guimarães *et al.* (1999), o que pode explicar a ausência de resposta para as características de crescimento nas duas primeiras épocas de avaliação.

Corroborando com esse trabalho, Vilela *et al.* (2017) ao avaliarem o efeito de doses de N, P e K em diferentes cultivares de cafeeiro na implantação não constataram diferenças significativas em seu crescimento inicial em solos corrigidos e com bom teor de matéria orgânica.

De forma similar aos resultados verificados nas duas primeiras épocas de avaliação, Sobreira *et al.* (2011), em cafeeiro fertirrigado no primeiro ano de formação com diferentes doses de adubação nitrogenada e potássica, constataram que o incremento ou a redução na dose padrão de N e K₂O, recomendada por Guimarães *et al.* (1999) para o cultivo em sequeiro não promoveu alterações no crescimento vegetativo. Ainda, os mesmos autores afirmaram que o nível de 70% da adubação padrão, ou seja, menor dose testada nesse experimento, ocasionou suficiência quanto ao desenvolvimento vegetativo, e que possivelmente uma dose menor do que a testada nesse trabalho possa atender ao crescimento de lavouras fertirrigadas no primeiro ano pós-plantio.

Em trabalhos com cafeeiros irrigados, verificou-se que o aumento nas doses de N e K₂O não resultou em maior crescimento e desenvolvimento das plantas, na fase inicial e produtiva do cultivo, tendo-se observado, inclusive, possíveis reduções (WINSTON *et al.*, 1992; NAZARENO *et al.*, 2003). Porém, Pinto *et al.* (2013) alertaram para diminuição das produtividades durante as primeiras produções quando a adubação na formação da lavoura é abaixo da recomendada.

Também foi possível constatar em outubro de 2019 e fevereiro de 2020 que o diâmetro de caule e o comprimento do primeiro ramo plagiotrópico das plantas tiveram menores valores com as adubações acima de 100% do recomendado por Guimarães *et al.* (1999), sendo que as demais foram iguais entre si (FIGURAS 3D e 3F). Esse resultado pode ser devido a água ser o principal constituinte dos tecidos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2017) e com aumento do índice pluviométrico e da temperatura média a partir do final de setembro de 2019, proporcionou condições favoráveis ao cafeeiro para o início das brotações e, conseqüentemente, diferenciação dos diferentes tratamentos empregados nesse experimento.

Sabe-se que a disponibilidade hídrica afeta significativamente o crescimento das plantas, pois a água é fator principal nas reações metabólicas e nos processos de transporte, translocação de fotoassimilados, turgescência celular e abertura e fechamento dos estômatos (TAIZ; ZEIGER, 2017).

No presente estudo, a redução nas características de crescimento vegetativo pode estar associada ao fato de os nutrientes estarem disponíveis em excesso para as plantas, contrariando assim a Lei do Mínimo, a ocorrência de efeito interiônicos de inibição ou antagonismo entre os vários nutrientes utilizados no experimento (CARVALHO *et al.* 2010) ou, mesmo, causando um aumento no índice de salinidade do solo, levando assim, a prejuízo no crescimento vegetativo na fase de formação do café. Também, supõe-se que as reduções no crescimento vegetativo do cafeeiro nesse experimento podem estar associadas com as altas temperaturas e

menor índice pluviométrico ocorrido após o plantio, em janeiro de 2019, no qual foi abaixo das médias históricas registradas para esse mês.

De modo geral em casos de estresse abiótico, as plantas sofrem mudanças morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares que afetam negativamente o crescimento e a produtividade vegetal (WANG *et al.*, 2001). Em café, estudos relataram a redução do crescimento vegetativo de plantas com a diminuição da disponibilidade hídrica (PELOSO; TATAGIBA; AMARAL, 2017). Resultados semelhantes foram constatados por Fialho *et al.* (2010), que relataram perdas significativas, em plantas de *Coffea arabica* L., nas diferentes fases do seu desenvolvimento inicial sob déficit hídrico por 30 dias.

Em relação aos diferentes níveis de adubação, Oliveira (2005) em trabalho com objetivo de estabelecer uma dose ideal para o cultivo do cafeeiro na fase inicial de formação em solos arenosos, em vasos, notou que o aumento nos níveis de adubação com N, P e K causou uma diminuição do diâmetro de caule em duas épocas de avaliação (140 e 174 dias após o transplantio para o vaso), o que pode estar relacionado a um possível estiolamento. Ainda, no mesmo trabalho, observou que para massa seca de raízes, e massa seca da parte aérea e, massa seca de folhas, houve resposta linear crescente com o aumento dos níveis de adubação.

Clemente *et al.* (2008), trabalhando em condições de casa de vegetação no primeiro ano após o plantio do cafeeiro, verificaram que os níveis de adubação que proporcionaram 90% do crescimento máximo ao final de 12 meses de cultivo estavam na maioria das situações, em torno de 71 e 112,25% da adubação padrão, ou seja, próximo ao recomendado por Guimarães *et al.* (1999).

Já quando se trabalha com lavouras fertirrigadas, os resultados apontaram para maiores necessidades de N, P e K pelas plantas, como encontrado por Assis *et al.* (2015) que encontraram pontos de máximo crescimento acima do recomendado por Guimarães *et al.* (1999), sendo a maior produtividade encontrada no ponto de 179,91%.

Também em lavoura de café fertirrigada em seu primeiro ano após o plantio, Pinto *et al.* (2013) verificaram que o melhor nível de adubação com N, P e K para a característica produtividade é 118,33% da adubação padrão utilizada para lavouras de sequeiro na primeira produção. No mesmo ensaio, porém em trabalho posterior, Resende (2019) relatou que as maiores produtividades do cafeeiro fertirrigado foram alcançadas na faixa de adubação entre 116,00% e 131,00% da adubação padrão (GUIMARÃES *et al.*, 1999) nas 4 primeiras safras.

A partir do exposto, mesmo ocorrendo redução em valores das características de crescimento nas duas últimas épocas de avaliação, ressalta-se que o efeito da diminuição ou incremento das doses de N, P e K (recomendação de Guimarães *et al.*, 1999) pode afetar na

formação do cafeeiro em sequeiro em estádios fenológicos posteriores e levar à deficiências ocultas, conforme alertado por Pinto *et al.* (2013), sendo assim, a dose de 100% passa a ser a mais segura nas fases de implantação e formação da lavoura.

Não foi observada diferença significativa no índice de clorofila a, clorofila b e clorofila total entre abril e outubro de 2019 e, fevereiro de 2020 em função dos níveis de adubação com N, P e K na formação do cafeeiro. Sabe-se que a clorofila apresenta em sua constituição os nutrientes N e magnésio (Mg), sendo o último considerado a molécula central desse pigmento, participando efetivamente do processo fotossintético das plantas, refletindo no crescimento e adaptação das plantas em diferentes ambientes de cultivo (STREIT *et al.*, 2005; TAIZ; ZEIGER, 2017).

Uma possível explicação para não ter havido diferença nos índices de clorofila a, clorofila b e clorofila total é que, ao se observar a análise de solo antes da implantação do presente experimento (TABELA 1) o valor de Mg é considerado ‘médio’ e na reaplicação dos tratamentos o teor de Mg está no valor considerado ‘bom’ em todos os tratamentos segundo Guimarães *et al.* (1999) (TABELA 3), o que pode explicar a falta de resposta significativa em relação aos índices de clorofila nas três épocas avaliadas. Resultado similar a esse foi relatado por Neto (2009) em cafeeiro irrigado, em que a concentração de clorofila a, clorofila b e clorofila total não respondeu as doses de N.

Em junho de 2019 o índice de clorofila a, clorofila b e clorofila total apresentou comportamento quadrático, com pontos de máxima observados próximos do nível de 100% da adubação padrão com N, P e K, resultados esses coincidentes com os de Reis *et al.* (2006) que verificaram haver efeito de doses crescentes de nitrogênio em relação com o índice de clorofila na folha. Também Resende (2019), trabalhando com cafeeiros após a poda por recape, notou que, à medida que se aumentava o nível de adubação, aumentava o índice de clorofila b e clorofila total nas folhas das plantas de cafeeiro de forma linear, atingindo o ponto máximo no nível de 160% da adubação padrão com N, P e K.

Outros trabalhos também encontraram diferenças nos teores de clorofila em função do aumento da adubação, como o de Godoy *et al.* (2008) em cafeeiro fertirrigado em que os valores do índice relativo de clorofila variaram com as doses de N aplicadas via fertirrigação, com efeito linear para todas as datas avaliadas e ainda Lima Filho, Malavolta e Cabral (1997) que encontraram respostas lineares no índice relativo de clorofila de cafeeiro com 12 meses de idade em relação a dose de N.

Na cultura do trigo, Viana e Kiehl (2010) concluíram que o fornecimento combinado das doses de N e K incrementou o conteúdo de clorofila. Tal comportamento ocorre devido ao

aumento da concentração da clorofila, promovido pela maior concentração de nitrogênio total nos tecidos. Pode-se ainda observar o importante papel do potássio no auxílio do nitrogênio na formação de clorofila no tecido vegetal, que pode ser atribuído à melhor nutrição das plantas e maior crescimento quando houve o fornecimento das maiores doses de N e K associadas.

As características fisiológicas condutância estomática e potencial hídrico foliar não apresentaram diferença significativa em função dos níveis de adubação com N, P e K em cafeeiro em fase de formação. Resposta similar foi apontada por Gama *et al.* (2017) em cafeeiro fertirrigado, na qual não observaram diferença significativa na condutância estomática, transpiração e na taxa fotossintética com diferentes níveis de adubação com N, P e K no segundo ano após o plantio.

Nota-se também que, tanto para café arábica quanto para o robusta, há relação entre a condutância estomática e o potencial hídrico foliar, onde ao diminuir o potencial hídrico foliar como consequência ocorre a diminuição da condutância estomática (NUNES; CORREIA, 1983; KANECHI *et al.*, 1995; PINHEIRO *et al.*, 2005), enfatizando o papel da água da folha no controle estomático e nas demais partes da planta.

Em condições de estresse, Peloso *et al.* (2017) verificaram que o déficit hídrico afetou negativamente a fotossíntese do cafeeiro, seja por meio da menor eficiência de utilização de energia pelo aparato fotoquímico, quanto por decréscimos significativos obtidos em condutância estomática, os quais, estiveram associados à diminuição nos valores da assimilação líquida de CO₂.

Silva *et al.* (2008) observaram que as plantas dos tratamentos irrigados obtiveram maior potencial hídrico foliar quando comparados com as do tratamento sem irrigação. Segundo Taiz e Zeiger (2017) o potencial hídrico foliar diminui à medida que o solo seca e a reidratação reverte o processo. Seguindo essa lógica, períodos com maior distribuição de chuvas ocasionam maiores potenciais hídricos foliares quando comparados com a época de escassez de água.

No entanto, as características condutância estomática e potencial hídrico foliar possivelmente não apresentaram diferença significativa devido a não variação da umidade do solo dentro das parcelas experimentais nas épocas avaliadas, não interferindo no comportamento dessas. Além disso, o solo da área experimental encontrava-se corrigido e com os atributos químicos equilibrados, e com isso provavelmente os diferentes níveis de adubação com N, P e K não interferiram nessas variáveis em cafeeiros na formação, não causando algum tipo de estresse em razão da falta ou excesso de nutrientes que pudessem interferir nessas variáveis.

O diâmetro polar dos estômatos e a relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos em agosto de 2019 foram maiores nos níveis com 122,39% e 138,62% da adubação padrão, respectivamente, e os menores valores das mesmas características foram encontradas nos níveis de 45,88% e 40,04% da adubação padrão. Em fevereiro de 2020 a maior relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos foi observada no nível com 160,00% da adubação padrão. Esse resultado indica que as doses abaixo da recomendada influenciam negativamente os valores do diâmetro polar dos estômatos e relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos, enquanto uma planta com a nutrição equilibrada, ou seja, com a dose recomendada ou com níveis de adubação superiores a ela apresentam um incremento no diâmetro polar dos estômatos e relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos, fato esse que pode otimizar as trocas gasosas das folhas do cafeeiro. Ainda, uma maior relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos pode ser relacionada a uma menor transpiração da folha, pois os estômatos tornam-se mais elípticos (BATISTA *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2010).

Resultados semelhantes aos encontrados no presente trabalho foram relatados por Gama (2015) em cafeeiro fertirrigado, no primeiro ano após a implantação, que verificou ser o nível de 100,00% da adubação padrão com N, P e K o que proporcionou um maior diâmetro polar dos estômatos e relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos. No mesmo experimento, porém no segundo ano após a implantação, Gama *et al.* (2017) notaram que a relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos apresentou comportamento distinto nas duas épocas de avaliação, com seus maiores valores nos níveis de 70,00% em agosto e 130,00% em março da adubação padrão de N, P e K.

Para as características número de estômatos, diâmetro equatorial dos estômatos e densidade estomática não foram observadas diferenças em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K em cafeeiros em formação. Gama (2015) trabalhando com cafeeiros fertirrigados, no primeiro ano após a implantação verificou que conforme aumentou-se a adubação com N, P e K em cafeeiro irrigado, houve um aumento no número de estômatos até próximo do nível de 130,00% da dose padrão recomendada. Ainda no mesmo estágio fenológico, o mesmo observou que o diâmetro equatorial dos estômatos foi reduzido nos menores níveis de adubação de 40,00 e 70,00%.

Também Gama *et al.* (2017) verificaram que houve um aumento no diâmetro equatorial dos estômatos e aumento da densidade estomática com o aumento no nível de adubação nas duas épocas de avaliação, demonstrando possível correspondência dessa característica com a disponibilidade de nutrientes. Para o número de estômatos os maiores valores foram encontrados no nível de 130,00% da adubação padrão com N, P e K. Porém, os autores

trabalharam com cafeeiros fertirrigados, diferentemente do presente trabalho em que se trabalhou com lavoura sem irrigação.

Rosolem e Leite (2007) relataram que a quantidade e a forma dos estômatos eram diferentes nas folhas de cafeeiro com deficiência do nutriente boro. Eles notaram que as folhas sem deficiência possuíam muitos mais estômatos e distribuídos de forma mais uniforme do que em regiões foliares com deficiência desse nutriente. Ainda, relataram que essas alterações podem afetar a taxa de transpiração, absorção e transporte de nutrientes, e eventualmente o crescimento da planta. Em experimento com cafeeiros sem e com o fornecimento de zinco Neves (2009) não observou diferença significativa na densidade estomática.

Já para as variáveis espessura da cutícula, espessura da epiderme adaxial, espessura do parênquima paliçádico, espessura do parênquima esponjoso e espessura do mesofilo não foram notadas no presente trabalho, modificações em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K na formação do cafeeiro. Observou-se alterações somente para espessura da epiderme abaxial nas duas épocas avaliadas.

Em trabalho similar, porém irrigado, Gama (2015) relatou resultados diferentes dos verificados nesse presente experimento, no qual a autora encontrou maiores valores na espessura da cutícula, espessura da epiderme adaxial, espessura do mesofilo e espessura do parênquima esponjoso no nível de 100% da adubação padrão com N, P e K em cafeeiro no primeiro ano após o plantio nas duas épocas avaliadas. Para espessura da epiderme abaxial e espessura do parênquima paliçádico notou-se uma diminuição com o aumento no nível de adubação nas duas épocas analisadas. No mesmo experimento, porém em avaliações no segundo ano após o plantio, Gama *et al.* (2017) verificaram que o aumento na adubação causou a diminuição na espessura da cutícula em março e, em agosto o nível 100% da adubação padrão apresentou o maior valor para espessura da cutícula. Para a espessura da epiderme adaxial observaram uma maior espessura da epiderme adaxial com o aumento da adubação em agosto, quando comparada a março, que ocorreu uma diminuição na espessura com o aumento da adubação. Para a espessura do parênquima paliçádico o maior valor foi encontrado no nível de 100% da adubação padrão em agosto e, em março a espessura do parênquima paliçádico apresentou ponto máximo próximo ao nível de 40% da adubação padrão.

Neves (2009) não observou diferença na epiderme abaxial com ou sem fornecimento de Zn em mudas na cultura do café. Em trabalho com os micronutrientes boro (B) e cobre (Cu), Jezler (2016) notou que a deficiência e o excesso de B alteraram algumas características anatômicas foliares, como a espessura da epiderme adaxial, espessura do parênquima paliçádico

e espessura do parênquima esponjoso. A mesma autora relata que doses de Cu não influenciaram a estrutura geral de células e tecidos de folhas maduras.

Grisi *et al.* (2008) verificaram que a espessura da epiderme adaxial e espessura da epiderme abaxial não variaram entre os cafés irrigados e não irrigados, todavia, Castanheira (2018) observou que a disponibilidade hídrica no cafeeiro afetou o desenvolvimento da espessura do parênquima paliçádico, espessura do parênquima esponjoso e espessura do mesofilo.

Queiroz-Voltan *et al.* (2014) em ensaio com caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais notaram que a espessura da epiderme adaxial das folhas era sempre maior do que na face abaxial, havendo maior variação entre os cafeeiros na face adaxial, resultado esse diferente do encontrado no presente trabalho, no qual houve alteração na espessura da epiderme abaxial e nenhuma na espessura da epiderme adaxial.

Sabe-se que o maior desenvolvimento do parênquima esponjoso e do mesofilo foliar contribui para o armazenamento de CO₂, favorecendo as trocas gasosas e, ainda, o parênquima paliçádico está diretamente relacionado com a fixação de CO₂ e, em consequência, com a eficiência fotossintética das plantas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Assim, essa não diferença na espessura desses tecidos foliares corroboram com os resultados da condutância estomática encontrados no presente estudo.

Em relação a cutícula, a mesma pode funcionar como uma barreira para o excesso de transpiração (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). No entanto, não houve influência dos diferentes níveis de adubação com N, P e K na espessura da cutícula, pois os tratamentos encontravam uniformes quanto ao nível de água, exemplificado nesse presente trabalho pela não diferença no potencial hídrico foliar entre os tratamentos em todas épocas avaliadas e, sendo assim, não necessitou de adaptações nesse tecido.

Na avaliação dos feixes vasculares não se encontrou diferenças em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K na formação do cafeeiro no número de vasos do xilema, área do floema, área do xilema, frequência de vasos do xilema e diâmetro dos vasos do xilema.

Esses tecidos vasculares são responsáveis pela distribuição de água, sais minerais e fotoassimilados, sendo assim, essenciais para o metabolismo vegetal (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009) e modificações nesses órgãos podem representar uma forma de adaptação da planta quando exposta à diferentes condições.

Em situação de deficiência do micronutriente boro (B), Rosolem *et al.* (2007) afirmam que tal situação prejudica a formação normal do xilema, causando eventualmente uma menor translocação de boro dentro da planta. Para o micronutriente zinco (Zn), Neves (2009)

obtiveram que plantas de café com deficiência desse nutriente não apresentaram diferença estruturais no sistema vascular e, também, mesmo o tratamento sem fornecimento de Zn não apresentou sinais de desorganização dos tecidos. Rosolem *et al.* (2005) também não observaram modificações no tecido vascular em folhas de cafeeiros submetidos a deficiência de Zn.

Também, oposto do que ocorreu nesse experimento, Gama *et al.* (2017) encontraram um incremento no número de vasos do xilema e área do floema com o aumento da adubação com N, P e K no primeiro ano após a implantação do cafeeiro fertirrigado e uma diminuição no diâmetro dos vasos do xilema nas duas épocas avaliadas. Ainda, nas avaliações realizadas nesse experimento no segundo ano após a implantação o número de vasos do xilema foi maior com o nível de 100% da adubação padrão em agosto e em março para o nível de 70% da adubação padrão. O diâmetro dos vasos do xilema comportou-se igual nas duas épocas avaliadas, onde apresentou um crescimento com aumento da adubação, com ponto máximo próximo ao tratamento com 100% de adubação padrão. Já a área do floema, em março foi verificado uma maior espessura no nível de 100% da adubação padrão e em agosto o maior valor de área do floema foi encontrado no nível de 40% da adubação padrão.

Queiroz-Voltan *et al.* (2014) afirmam que a anatomia foliar varia em função da radiação solar, temperatura, quantidade de água disponível no ambiente e nutrientes do solo, conferindo assim características adaptativas para que a planta tenha um ótimo desenvolvimento.

Sendo assim, no presente experimento, encontrou-se diferenças no diâmetro polar dos estômatos e na relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos das plantas com diferentes níveis de adubação. Porém, não se encontrou diferenças em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K na formação do cafeeiro ao se avaliar: número de estômatos, diâmetro equatorial dos estômatos, densidade estomática, espessura da cutícula, espessura da epiderme adaxial, espessura do parênquima esponjoso, espessura do parênquima paliçádico, espessura do mesofilo, números de vasos do xilema, área do floema, área do xilema, frequência de vasos do xilema e diâmetro de vasos do xilema.

6 CONCLUSÕES

O NDVI correlaciona-se com a altura do cafeeiro e mostra-se eficiente na avaliação no comportamento frente as variáveis climatológicas.

A adubação com 100% da dose recomendada é a mais segura para a implantação de lavouras sem irrigação, correspondendo 80 g de P_2O_5 por muda na cova de plantio, 20 g de K_2O por planta em um ano e 5 g de N por planta em cada aplicação, na ocasião do plantio e, no primeiro ano após a implantação, 10 g de K_2O por planta em um ano e 10 g de N por planta em cada aplicação (para níveis de fósforo e potássio semelhantes aos da área experimental).

Os diferentes níveis de adubação com N, P e K na formação do cafeeiro alteram os índices de clorofila e anatomia foliar.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. de C.; SILVA, F. M. da. Ferramentas de cafeicultura de precisão. *In*: SILVA, F. M. da; ALVES, M. de C. **Cafeicultura de precisão**. Lavras: UFLA, 2013. p. 39-80.
- AMARAL, J. A. T.; RENA, A. B.; AMARAL, A. B. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 377-384, mar. 2006.
- ANDRADE, L. R. M. A. Café. *In*: Sousa, D. M. G. **Cerrado**: Correção do solo e adubação. EMBRAPA. 2004. p. 339-342.
- ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, [S.l.], v. 14, p.371-375, 1939.
- ASSIS, G. A. de *et al.* Critical ranges for leaf nitrogen and potassium levels in coffee fertigated at the production phase1. **Revista Ciência Agronômica**, [S.l.], v. 46, n. 1, p. 126-134, 2015.
- BALIZA, D. P. *et al.* Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, p. 250-258, 2012.
- BARROS, R. S. *et al.* Decline of vegetative growth in *Coffea arabica* L. in relation to leaf temperature, water potential and stomatal conductance. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 54, n. 1, p. 65-72, Aug. 1997.
- BATISTA, L.A. *et al.* Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 475-481, 2010.
- BOUGUYON, E; GOJON, A; NACRY, P. Nitrate sensing and signaling in plants. *In*: **Seminars in Cell & Developmental Biology**. Academic Press, p. 648-654, 2012.
- BRAGAGNOLO, J. *et al.* Optical crop sensor for variable-rate nitrogen fertilization in corn: I plant nutrition and dry matter production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 37, n. 5, p. 288-298, 2013.
- BREDEMEIER, C. *et al.* Estimativa do potencial produtivo em trigo utilizando sensor óptico ativo para adubação nitrogenada em taxa variável. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 7, p. 1147-1154, jun. 2013.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. *In*: NOVAIS. R. F. de N. *et al.* (Eds). **Fertilidade do solo**. 1 ed. Viçosa, MG. 2007. p. 376-470.
- CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e enxofre. *In*: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**: nutrientes, Piracicaba: International Plant Nutrition Institute (IPNI). V. 2, p. 15-65, 2010.
- CARVALHO, J. G. *et al.* Sintomas de desordens nutricionais em cafeeiro. *In*: GUIMARÃES, R. J. *et al.* (Ed.). **Semiologia do cafeeiro**: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas. Lavras: UFLA. p. 31-68. 2010.

CASTANHEIRA, D. T. **Técnicas agronômicas para mitigação dos efeitos da restrição hídrica no cafeeiro**. 2018. 125 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. p. 126. 2018.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal**: estrutura e função de órgãos vegetativos. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CLEMENTE, F. M. V. T. *et al.* Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio - primeiro ano **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 47-57, jan./jun. 2008.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da Safra de Café**. Levantamento de safra de setembro de 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 26 out. 2020.

CRUZ, C. D. *et al.* **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. 620 p.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 18, p. 55-81, 2006.

DAUGHTRY, C. S. T. *et al.* Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 74, n. 2, p. 229-239, Nov. 2000.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. de N. *et al.* **Fertilidade do Solo**. 1 ed. Viçosa: SBCS, 2007. p. 92-132.

DICKISON, W.C. Integrative plant anatomy. **San Diego**: Academic Press, 2000. 533 p.

DORIGO, W. A. *et al.* A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 9, n. 2, p. 165-193, May 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018, 590 p.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Evolução da cafeicultura brasileira nas últimas duas décadas**. Embrapa café, 2020. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/Consorcio-Embrapa-Cafe-Evolucao-24-1-2017.pdf. Acesso em: 23 ago. 2020.

EPSTEIN, M.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral das plantas**: princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403 p.

FERREIRA, E. P. de B. *et al.* Vegetative growth of *Coffea arabica* L. as affected by irrigation and climatic conditions of the Cerrado of Goiás State. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3235-3244, 2013.

FIALHO, G. S. *et al.* Comportamento de plantas de café arábica submetidas a déficit hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Idesia**, Arica, v. 28, n. 3, p. 35-39, Dic. 2010.

FURTINI NETO, A. E. *et al.* **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

GAMA, T. C. P. **Características anatômicas e fisiológicas de cafeeiros irrigados em diferentes níveis de adubação**. 2015. 78 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, , 2015.

GAMA, T. C. P. da *et al.* Anatomia foliar, fisiologia e produtividade de cafeeiros em diferentes níveis de adubação. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 42-48, 2017.

GAUSMAN, H. W. *et al.* Reflectance and internal structure of cotton leaves, *Gossypium hirsutum* L. **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, n. 3, p. 374-376, May 1969.

GODOY, L. J. G. de *et al.* Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 217-226, 2008.

GOMES, I. A. C. *et al.* Alterações morfológicas em folhas de *Coffea arábica* L. cv “Oeiras” sob influência do sombreamento por *Acacia Mangium* Willd. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38 n. 1, p. 109-115, 2008.

GOMIDE, M. B. *et al.* Comparação entre métodos de determinação de área foliar em cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 118-23, jul./dez. 1977.

GOVAERTS, B.; VERHULST, N. **The normalized difference vegetation index (NDVI) Greenseeker (TM) handheld sensor: toward the integrated evaluation of crop management part A: concepts and case studies**. Mexico: CIMMYT, 2010. 12 p.

GRANT, C. A. *et al.* **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 95, p. 1-5, 2001.

GRISI, F. A. *et al.* Avaliações anatômicas foliares em mudas de café “Catuaí” e “Siriema” submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1730-1736, 2008.

GUERREIRO FILHO, O. *et al.* Café Arábica. In: AGUIAR, A. T. E. *et al.* (Ed.). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas: boletim 200**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2014. p. 90-104.

GUIMARÃES, P. T. G. *et al.* Cafeeiro. In: 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, UFV, 1999. p. 289-302.

GUIMARÃES, P. T. G. *et al.* Adubação do cafeeiro e a qualidade do produto colhido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 39-51, 2011.

GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. In: REIS, P. R.; DA CUNHA, R. L. Café arábica do plantio à colheita. Lavras, MG: EPAMIG, 2010. p. 347-414.

HAAG, H. P.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre alimentação mineral do cafeeiro. III. Efeito das deficiências dos macronutrientes no crescimento e na composição química do cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Bourbon (B. rodr.) (Choussy) cultivados em solução nutritiva. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 35, n.4, p. 273-289, dez. 1960.

ICO. International Coffee Organization. **Estatísticas do comércio**: produção: total production by all exporting countries. London: ICO, 2020.

JEZLER, A. N. **Avaliação anatômica e ultraestrutural de *Coffea arabica* L. em resposta ao boro e ao cobre**. 2016. 78p. Tese (Programa de Pós Graduação em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

JIANG, D. *et al.* Study on the interaction between NDVI profile and the growing status of crops. **Chinese Geographical Science**, Beijing, v. 13, n. 1, p. 62-65, mar. 2003.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill, 1940.

JOLLIFFE, I. T. Discarding variables in a principal components analysis. In: Artificial data. **Applied statistics**. [S.l.], v. 21, p.160-173, 1972.

JUNGES, A. H. *et al.* Normalized difference vegetation index obtained by ground-based remote sensing to characterize vine cycle in Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 41, n. 5, p. 543-553, set./out. 2017.

KANECHI, M. *et al.* Water stress effects on leaf photosynthesis and diffusive conductances of three Coffea species (*C. arabica*, *C. canephora*, *C. liberica*) In: **Proceedings of the 16th International Scientific Colloquium on Coffee, Kyoto**. 1995. Paris: Association Scientifique Internationale du Café, 1995, p. 804-810.

LAVIOLA, B. G. *et al.* Macronutrient accumulation in coffee fruits at Brazilian Zona da Mata conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, n. 6, p. 980-995, 2009.

LAVIOLA, B. G. *et al.* Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1521-1530, 2007a.

LAVIOLA, B. G. *et al.* Dinâmica de cálcio em folhas e frutos de cafeeiro arábica em três níveis de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, p. 319-329, 2007b.

LIMA FILHO, O. F.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. Avaliação preliminar de um medidor portátil de clorofila como ferramenta para o manejo da adubação nitrogenada do cafeeiro. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [S.l.], v. 40, p. 642-650, 1997.

LIU, S. *et al.* Spectral responses to plant available soil moisture in a Californian grassland. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 19, p. 31-44, Oct. 2012.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 683 p.

_____. **Nutrientes e nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210 p.

_____. Nutrição, adubação e calagem para o 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.

_____. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic, 1995. 889 p.

MATIELLO, J. B. *et al.* **Cultura do café no Brasil: manual de recomendações**. Rio de Janeiro: Mapa, 2015. 584 p.

MELO, B. de. *et al.* Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro, em um solo originalmente sob vegetação de cerrado de Patrocínio-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.l.], v. 29, n. 2, p. 315-321, 2005.

MOLIN, J. P. *et al.* Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1345-1349, 2010.

MORAIS, H. *et al.* Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade of Pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 6, p. 863-871, Nov./Dec. 2004.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

NASCIMENTO, E. A. do *et al.* Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 852-857, maio/jun. 2006.

NAZARENO, R. B. *et al.* Crescimento inicial do cafeeiro ‘Rubi’ em resposta a doses de nitrogênio, fósforo e potássio e a regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v.38, p. 903-910, 2003.

NETO, A. P. **Metabolismo do nitrogênio e concentração de nutrientes no cafeeiro irrigado em razão da dose de N**. 2009. 94 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2009.

NEVES, P. Y. Conteúdo foliar de zinco, produção, qualidade de grãos e plasticidade foliar do cafeeiro em resposta ao suprimento do nutriente. 2009. 87 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NOVAIS, R. F. *et al.* Fósforo. In: NOVAIS, R. F. *et al* (Eds.). **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: SBCS, 2007. p. 472-550.

NTECH INDUSTRIES, UKIAH, CA, USA. **Ficha técnica do Greenseeker**. Disponível em: agriculture.trimble.com/product/greenseeker-porttil/?lang=pt-br. Acesso em: 05 jul. 2020.

NUNES, M. A.; CORREIA, M. M. Regulação estomática da água disponível no solo em *C. arabica* L. (cvs. Caturra, Catuaí e Harrar). **Série Estudos Agronômicos**, [S.l.], v. 10. p. 83-90. 1983.

O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; MCCULLY, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma**, Karlsruhe, v. 59, p. 368-373, 1964.

OLIVEIRA, S. **Adubação com nitrogênio, fósforo e potássio para experimentos com cafeeiros em vasos**. 2005. 63 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

PAIVA, C. M. *et al.* Análise dos efeitos do déficit hídrico na resposta temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no Estado do Amazonas. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 1064-1076, 2016.

PELOSO, A. F. *et al.* Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 389-399, 2017.

PELOSO, A. F.; TATAGIBA, S. D.; AMARAL, J. F. T. Limitações do crescimento vegetativo em cafeeiro arábica promovido pelo déficit hídrico. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 139-147, 2017.

PIAS, O. H. de C. *et al.* Nitrogênio no solo e no tecido foliar do feijoeiro em função da adubação nitrogenada. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 6, n. 4, p. 13-27, 2017.

PINHEIRO, H. A. *et al.* Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Ann. Bot.**, v. 96, p. 101-108. 2005.

PINTO, C. G. *et al.* Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes primários para cafeeiros fertirrigados no primeiro ano pós-plantio. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 530-538, out./dez. 2013.

POIRIER, Y.; BUCHER, M. Phosphate transport and homeostasis in Arabidopsis. **The Arabidopsis book/American Society of Plant Biologists**, v. 1, 2002.

POVH, F. P. *et al.* Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, ago. 2008.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B. *et al.* Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. **Biotemas**, Florianópolis, v. 27, n. 4, p. 1-10, 2014.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016.

RAIJ, B. V. *et al.* Calagem e adubação nitrogenada e potássica para o cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 55. p. 347-355, 1996.

REIS, A. R. *et al.* Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 163-171, 2006.

REIS, T. H. P. *et al.* Estado nutricional e frações foliares de P no cafeeiro em função da adubação fosfatada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 48, n. 7, p. 765-773, 2013.

REIS, T. H. P. *et al.* Soil phosphorus dynamics and availability and irrigated coffee yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 503-515, 2011.

RESENDE, T. B. **Crescimento e produtividade de cafeeiros fertirrigados com diferentes níveis de N, P e K. 2019.** 82 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

REYNOLDS, A. G. *et al.* Mapping Cabernet Franc vineyards by unmanned aerial vehicles (UAVs) for variability in vegetation indices, water status, and virus titer. *et al:* E3S WEB OF In: CONFERENCES, 50.; CONGRESSO INTERNACIONAL TERROIR, Zaragoza. **Proceeding...** Zaragoza: [S.n.], 2018.

REZNICK, J. P. K. Produtividade, qualidade industrial e nutricional na cultura do trigo. 2017. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2017.

RISSINI A. L. L.; KAWAKAMI J; GENÚ, A. M. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 39, p. 1703-1713, 2015.

ROSA, V. G. C. da *et al.* Estimativa da produtividade de café com base em um modelo agrometeorológico-espectral. **Pesquisa agropecuária brasileira**, [S.l.], v. 45, n. 12, p. 1478-1488, 2010.

ROSOLEM, C. A.; LEITE, V. M. Coffee leaf and stem anatomy under boron deficiency. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 477-483, 2007.

ROSOLEM, C. A.; SACRAMENTO, L. V. S.; OLIVEIRA, D. M. T. Kinetics of zinc uptake and anatomy of roots and leaves of coffee trees as affected by zinc nutrition. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, p. 2101-2112, 2005.

ROUSE, J. W. *et al.* Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., Washington, D.C., 1973. **Proceedings...** Washington, D.C.: NASA, 1973. v. 1, p. 309-317.

SAMBORSKI, S. M.; TREMBLAY, N.; FALLON, E. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, n. 4, p. 800-816, July 2009.

- SANTANA, J. A. do V. *et al.* Evolução do índice de área foliar de cafeeiro arábica sob diferentes níveis e formas de parcelamentos de adubação. **Pesquisa Agropecuária**, v. 2, n. 2, p. 3-17, 2019.
- SANTOS, G. O.; ROSALEN, D. L.; FARIA, R. T. de. Use of active optical sensor in the characteristics analysis of the fertigated brachiaria with treated sewage. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 37, n. 6, p. 1213-1221, nov./dez. 2017.
- SANTOS, W. J. R. *et al.* Soil moisture in the root zone and its relation to plant vigor assessed by remote sensing at management scale. **Geoderma**, Amsterdam, v. 221/222, p. 91-95, June 2014.
- SCHMIDT, D. *et al.* Leaf morphoanatomy of ryegrass in the tree species understory in agroforestry systems. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n.4, p. 368-375, jul./ago.2017.
- SILVA, A. C. *et al.* Produtividade e potencial hídrico foliar do cafeeiro Catuaí, em função da época de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 21-25, 2008.
- SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G. Qualidade dos grãos de café em função de doses de potássio. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [S.l.], v. 24, p. 1291-1297, 2002.
- SILVA, E. B. *et al.* Resposta do cafeeiro à adubação potássica em safras de baixa e alta produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1331-1337, 2001.
- SILVA, E. B. *et al.* Fontes e doses de potássio na produção e qualidade do grão de café beneficiado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 3, p. 335-345, 1999.
- SILVA, L. C. **Monitoramento do vigor de cafeeiros submetidos a estratégias de manejo para atenuar os efeitos da escassez hídrica**. 2019. 88 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2019.
- SILVA, L.C. *et al.* Uso do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na avaliação do desenvolvimento de cafeeiros do sul de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 9., Curitiba-PR, **Anais...** Brasília, D.F: Embrapa Café, 2015.
- SOBREIRA, F. M. *et al.* Adubação nitrogenada e potássica de cafeeiro fertirrigado na fase de formação em plantio adensado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 9-16, jan. 2011.
- SOUZA, A. J. J. *et al.* Levels of phosphorus in the initial development of coffee in soils with different textures. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 284-288, abr./jun. 2014.
- SOUZA, B. P. de. **Aspectos fisiológicos e moleculares da absorção e metabolismo do nitrogênio e do déficit hídrico em café arábica**. 2015. 78 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

SOUZA, E. G. *et al.* Índices de vegetação no milho em função da hora do dia e da taxa de nitrogênio aplicada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 865-872, 2009. (Suplemento).

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: SBCS. FERNANDES, M.S.; SOUZA, S.R.; SANTOS L.A. (Eds.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2 ed. Viçosa, MG. 2018. p. 309-376.

SOUZA, T. C. *et al.* Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracura' maize in response to periodic soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 16-24, jan. 2010.

STREIT, N. M. *et al.* As clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748-755, maio/jun. 2005.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. São Paulo: Artmed, 2017.

THOMAS, J. R. *et al.* Estimating leaf water content by reflectance measurements. **Agronomy Journal**, Madison, v. 63, n. 6, p. 845-847, Nov. 1971.

VANCE C. P.; STONE, C.H.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, [S.l.], v. 157, p. 423-447, 2003.

VIAN, A. L. *et al.* Nitrogen management in wheat based on the normalized difference vegetation index (NDVI). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 9, p. 1-9, 2018a.

_____. Limites críticos de NDVI para estimativa do potencial produtivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 17, n. 1, p. 91-100, 2018b.

VIANA, E. M; KIEHL, J. de C. **Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo**. Bragantia, Campinas, v. 69, n. 4, p. 975-982, Dec. 2010.

VILELA, D. J. M. *et al.* Crescimento inicial de cultivares de cafeeiro com diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 552 - 561, 2017.

VILLELA, G. M. *et al.* Faixas Críticas de Teores Foliares de Macronutrientes Primários para Cafeeiros Fertirrigados em Formação. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, p. 271-279, 2015.

VOLPATO, M. M. L. *et al.* Imagens do sensor modis para monitoramento agrometeorológico de áreas cafeeiras. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 176-182, abr./jun. 2013.

WANG, W. X. *et al.* Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. **Acta Horticulturae**, [S.l.], v. 560, p. 285-292, 2001.

WINSTON, E. C. *et al.* Effect of nitrogen and potassium on growth and yield of coffee (*Coffea arabica* L.) in tropical Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, [S.l.], v. 32, p. 217-224, 1992.

WÓJTOWICZ, M.; WÓJTOWICZ, A.; PIEKARCZYK, J. Application of remote sensing methods in agriculture. **Communications in Biometry and Crop Science**, Warsaw, v. 11, n. 1, p. 31-50, 2016.

ZERBATO, C. et al. Agronomic characteristics associated with the normalized difference vegetation index (NDVI) in the peanut crop. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 10, n. 5, p. 758-764, May 2016.

ZHOU, G.; YIN, X. Assessing nitrogen nutritional status, biomass and yield of cotton with ndvi, spad and petiole sap nitrate concentration. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 54, n. 4, p. 531-548, Aug. 2018.

APÊNDICE A - TABELAS

Tabela 1 - Resumo da análise de variância, para a variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente aos meses de abril, maio e junho de 2019, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios				
		23/04/19	07/05/19	21/05/19	04/06/19	18/06/19
Tratamento	5	0,0011	0,0014	0,0005	0,0025	0,0006
Bloco	3	0,0069	0,0027	0,0025	0,0017	0,0016
Erro	15	0,0014	0,0030	0,0027	0,0035	0,0015
Total	23					
CV (%)		14,12	17,69	17,17	22,86	19,95

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância, para a variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente aos meses de julho e agosto de 2019, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios				
		02/07/19	16/07/19	30/07/19	13/08/19	27/08/19
Tratamento	5	0,0003	0,0015	0,0008	0,0003	0,0004
Bloco	3	0,0008	0,0006	0,0015	0,0001	0,0003
Erro	15	0,0009	0,0012	0,0009	0,0005	0,0003
Total	23					
CV (%)		19,35	18,42	16,15	15,43	13,71

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância, para a variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente aos meses de setembro, outubro e novembro de 2019, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios				
		10/09/19	24/09/19	08/10/19	22/10/19	05/11/19
Tratamento	5	0,0003	0,0003	0,0014	0,0005	0,0005
Bloco	3	0,0004	0,0001	0,0002	0,0007	0,0020
Erro	15	0,0004	0,0003	0,0011	0,0024	0,0048
Total	23					
CV (%)		16,57	14,73	14,34	16,30	18,44

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 4 - Resumo da análise de variância, para a variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente aos meses de novembro e dezembro de 2019 e janeiro de 2020, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios				
		19/11/19	03/12/19	17/12/19	31/12/19	14/01/20
Tratamento	5	0,0019	0,0043	0,0018	0,0013	0,0080
Bloco	3	0,0019	0,0024	0,0108	0,0056	0,0060
Erro	15	0,0054	0,0057	0,0045	0,0047	0,0096
Total	23					
CV (%)		14,03	13,43	12,16	10,70	15,37

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância, para a variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), referente aos meses de janeiro, fevereiro e março de 2020, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios				
		28/01/20	11/02/20	25/02/20	10/03/20	25/03/20
Tratamento	5	0,0061	0,0046	0,0080	0,0070	0,0033
Bloco	3	0,0059	0,0060	0,0096	0,0150	0,0146
Erro	15	0,0061	0,0061	0,0047	0,0042	0,0061
Total	23					
CV (%)		11,25	10,32	9,31	9,11	11,02

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 6 - Resumo da análise de variância, para as variáveis altura (cm), diâmetro (mm), número de folhas e número de plagiotrópicos do mês de abril de 2019 em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios						
		DC	ALT	NF	NP	CP	NNP	NFP
Tratamento	5	1,24	5,36	33,50	1,03	10,21	0,47	1,86
Bloco	3	0,19	21,46	15,08	1,59	3,70	0,04	0,12
Erro	15	0,54	14,79	14,09	1,21	8,49	0,29	1,02
Total	23							
CV (%)		5,15	4,61	7,01	4,01	3,50	4,87	4,56

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 7 - Resumo da análise de variância, para as variáveis altura (cm), diâmetro (mm) e número de folhas no mês de julho de 2019 em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios						
		DC	ALT	NF	NP	CP	NNP	NFP
Tratamento	5	3,53	17,83	13,24	3,23	7,18	0,48	0,54
Bloco	3	0,13	19,03	34,18	0,67	8,77	0,21	1,36
Erro	15	1,39	18,44	41,99	1,18	5,10	0,33	0,64
Total	23							
CV (%)		16,62	12,26	34,12	19,73	35,26	38,53	47,58

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 8 - Resumo da análise de variância, para as variáveis altura (cm), diâmetro (mm) e número de folhas no mês de outubro de 2019 em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios						
		DC	ALT	NF	NP	CP	NNP	NFP
Tratamento	5	3,46*	29,35*	630,90*	11,59*	28,17*	1,31*	5,05*
Bloco	3	0,01	8,13	15,81	0,07	0,74	0,04	0,06
Erro	15	0,10	2,56	8,08	0,15	0,26	0,07	0,07
Total	23							
CV (%)		5,15	4,61	7,01	4,01	3,50	4,87	4,56

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 9 - Resumo da análise de variância, para as variáveis altura (cm), diâmetro (mm) e número de folhas no mês de fevereiro de 2020 em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios						
		DC	ALT	NF	NP	CP	NNP	NFP
Tratamento	5	9,02*	114,88*	1932,62*	8,28*	110,01*	2,28*	20,41*
Bloco	3	0,30	0,92	11,01	0,10	0,81	0,25	0,66
Erro	15	0,39	0,84	15,17	0,14	0,61	0,07	0,24
Total	23							
CV (%)		4,11	1,58	4,08	2,33	2,63	2,65	4,21

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 10 - Resumo da análise de variância, para as variáveis condutância estomática (gs), potencial hídrico foliar (PH), clorofila a (CIA), clorofila B (CIB) e clorofila total (CIT) referente ao mês de abril de 2019, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios				
		gs	PH	CIA	CIB	CIT
Tratamento	5	577,4384	0,0069	255,0561	210,3499	877,2345
Bloco	3	1364,7038	0,2304	774,1381	1057,0113	3649,4445
Erro	15	797,2019	0,0337	472,4349	952,6854	2665,8742
Total	23					
CV (%)		12,00	62,51	5,28	14,55	8,28

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 11 - Resumo da análise de variância, para as variáveis condutância estomática (gs), potencial hídrico foliar (PH), clorofila a (CIA), clorofila B (CIB) e clorofila total (CIT) referente ao mês de julho de 2019, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios				
		gs	PH	CIA	CIB	CIT
Tratamento	5	745,5239	0,0554	187,6667*	1554,3417*	2547,5417*
Bloco	3	2125,0462	0,0251	205,6667	633,4861	1319,2639
Erro	15	806,0880	0,0222	55,7333	300,9861	504,2972
Total	23					
CV (%)		14,66	31,50	1,70	5,98	3,08

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 12 - Resumo da análise de variância, para as variáveis condutância estomática (gs), potencial hídrico foliar (PH), clorofila a (CIA), clorofila B (CIB) e clorofila total (CIT) referente ao mês de outubro de 2019, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios				
		gs	PH	CIA	CIB	CIT
Tratamento	5	2010,5341	0,0050	107,5667	1299,6417	2037,5000
Bloco	3	1686,0809	0,0125	687,4444	4030,3750	7504,9444
Erro	15	773,2774	0,0269	327,1444	1196,2417	2317,6111
Total	23					
CV (%)		13,19	43,73	3,82	13,67	6,62

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 13 - Resumo da análise de variância, para as variáveis condutância estomática (gs), potencial hídrico foliar (PH), clorofila a (CIA), clorofila B (CIB) e clorofila total (CIT) referente ao mês de fevereiro de 2020, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios				
		gs	PH	CIA	CIB	CIT
Tratamento	5	826,0507	0,0002	260,0500	1424,0167	2841,5167
Bloco	3	840,4833	0,0001	151,1250	2641,2500	3994,0417
Erro	15	642,0606	0,0006	168,4000	1321,4667	2248,4500
Total	23					
CV (%)		14,65	74,81	2,82	12,77	6,37

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 14 - Resumo da análise de variância, para as variáveis número de estômatos (NE), diâmetro polar dos estômatos (DP), diâmetro equatorial dos estômatos (DE), densidade estomática (DEN) e relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) referente ao mês de agosto de 2019, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios				
		NE	DP	DE	DEN	DP/DE
Tratamento	5	75,0679	7,0986*	0,7276	10883,8136	0,0198*
Bloco	3	36,2754	0,4400	0,3628	5475,6792	0,0005
Erro	15	69,0785	2,3032	1,2119	10561,9042	0,0019
Total	23					
CV (%)		16,92	6,33	7,42	16,88	2,67

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 15 - Resumo da análise de variância, para as variáveis número de estômatos (NE), diâmetro polar dos estômatos (DP), diâmetro equatorial dos estômatos (DE), densidade estomática (DEN) e relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) referente ao mês de fevereiro de 2020, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios				
		NE	DP	DE	DEN	DP/DE
Tratamento	5	22,4852	0,8996	0,1051	3442,7533	0,0073*
Bloco	3	23,0526	4,5363	0,1984	3529,8906	0,0100
Erro	15	24,0098	2,1934	0,6672	3677,4574	0,0025
Total	23					
CV (%)		11,68	5,91	5,51	11,68	2,96

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 16 - Resumo da análise de variância, para as variáveis número de vasos do xilema (NVX), área do floema (AF), área do xilema (AX), frequência de vasos do xilema (FVX) e diâmetro dos vasos do xilema (DVX) referente ao mês de agosto de 2019, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios				
		NVX	AF	AX	FVX	DVX
Tratamento	5	541,8438	27485157,4151	35366307,9392	84555,0892	0,3090
Bloco	3	412,8324	167797266,8810	155580948,1144	517327,8956	0,2168
Erro	15	597,7062	104724043,2840	92854808,8359	257926,5379	0,2294
Total	23					
CV (%)		11,78	18,77	19,44	11,90	3,41

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 17 - Resumo da análise de variância, para as variáveis número de vasos do xilema (NVX), área do floema (AF), área do xilema (AX), frequência de vasos do xilema (FVX) e diâmetro dos vasos do xilema (DVX) referente ao mês de fevereiro de 2020, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios				
		NVX	AF	AX	FVX	DVX
Tratamento	5	1707,0536	8427921,7569	354822036,8736	221742,5771	0,0629
Bloco	3	672,5897	203413738,1746	448007154,4476	127649,8321	0,0765
Erro	15	957,3107	151732719,5720	256839709,8229	82100,8303	0,0527
Total	23					
CV (%)		12,57	17,59	19,26	9,51	2,86

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 18 - Resumo da análise de variância, para as variáveis espessura da cutícula da face adaxial (CUT), espessura da epiderme da face adaxial (EAD), espessura do parênquima paliçádico (PPA), espessura do parênquima esponjoso (PES), espessura do mesofilo (MES) e espessura da epiderme da face abaxial (EAB) referente ao mês de agosto de 2020, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios					
		CUT	EAD	PPA	PES	MES	EAB
Tratamento	5	0,0650	1,6956	55,6774	267,2161	313,4373	4,7381*
Bloco	3	0,0199	2,3036	98,4211	1100,8800	1126,5219	6,1165
Erro	15	0,1029	1,8820	81,5703	903,6832	1112,1580	0,8308
Total	23						
CV (%)		8,59	4,98	15,56	15,90	13,56	5,36

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 19 - Resumo da análise de variância, para as variáveis espessura da cutícula da face adaxial (CUT), espessura da epiderme da face adaxial (EAD), espessura do parênquima paliçádico (PPA), espessura do parênquima esponjoso (PES), espessura do mesofilo (MES) e espessura da epiderme da face abaxial (EAB) referente ao mês de fevereiro de 2020, em função dos diferentes níveis de adubação com N, P e K de cafeeiros em fase de formação. Lavras-MG, 2020.

FV	GL	Quadrados médios					
		CUT	EAD	PPA	PES	MES	EAB
Tratamento	5	0,1026	7,5853	72,2770	1090,1705	1240,5192	3,6950*
Bloco	3	0,0743	6,4389	76,7050	589,6137	801,0289	1,2041
Erro	15	0,1314	2,9415	53,4371	557,87000	595,9548	0,8797
Total	23						
CV (%)		11,32	6,02	12,66	12,36	9,89	4,47

* Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2020).