

CARLOS DIEGO DA SILVA

**RETRANSLOCAÇÃO DE NUTRIENTES EM VARIEDADES DE CAFÉ
ARÁBICA COMO FERRAMENTA DE MANEJO DE ADUBAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Leonardo Angelo de Aquino

Coorientadores: Roberto Ferreira de Novais

André Mundstock Xavier de Carvalho

**RIO PARANAÍBA – MINAS GERAIS
2019**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca da Universidade Federal
de Viçosa - Câmpus Rio Paranaíba**

T

S586r
2019
Silva, Carlos Diego da, 1991-
Retranslocação de nutrientes em variedades de café arábica
como ferramenta de manejo de adubação / Carlos Diego da
Silva. – Rio Paranaíba, MG, 2019.
48f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Leonardo Angelo de Aquino.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Coffea arabica*. 2. Remobilização. 3. Diagnose foliar.
I. Universidade Federal de Viçosa. Instituto de Ciências
Agrárias. Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal).
II. Título.

633.73

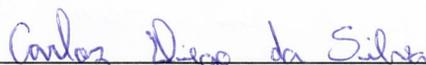
CARLOS DIEGO DA SILVA

**RETRANSLOCAÇÃO DE NUTRIENTES EM VARIEDADES DE CAFÉ
ARÁBICA COMO FERRAMENTA DE MANEJO DE ADUBAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 12 de novembro de 2019.

Assentimento:



Carlos Diego da Silva
Autor



Leonardo Angelo de Aquino
Orientador

*Dedico aos meus pais,
Por terem sonhado e caminhado comigo.
A toda a minha família e amigos,
Que sempre torcem por mim.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter sido meu guia, por me proteger e me abençoar em todos os momentos.

Aos meus pais, por terem me dado educação, valores, amor, por me apoiarem em minhas decisões me incentivando a buscar o melhor. Agradeço por acreditarem que um dia todo o esforço valeria a pena. Muito obrigado!

Quero agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Leonardo Angelo de Aquino, por toda a paciência, incentivo, transferência de conhecimento e empenho com que sempre me orientou durante o desenvolvimento dessa pesquisa. Muito obrigado por me ter corrigido quando necessário, suas orientações foram muito importantes na minha formação como profissional, mas principalmente como ser humano.

Aos Professores André Mundstock Xavier de Carvalho, Roberto Ferreira de Novais e Willian Rodrigues Macedo pelas orientações na elaboração do projeto.

Quero agradecer ao meu amigo Felipe Santinato, pela amizade, apoio, orientação e transferência de conhecimento, sempre me incentivando a aprofundar cada vez mais nos estudos com a cultura do café, não teria chegado até aqui se não fossem seus conselhos. Muito obrigado!

Quero agradecer ao amigo Alian, pelas orientações e por ter me ajudado em diversos momentos no desenvolvimento das pesquisas.

Aos membros e amigos do grupo de pesquisa GENAP: Guilherme Andrade, Mannon, Eli Matheus, Gustavo Lopes, Marcos, Rosiane, Matheus Augusto, Gustavo Martins, Allan, Arnon, Nelson, Arícia, Daniella, Bethânia e Ana Cristina, pela amizade e ajuda durante as atividades de pesquisa.

Quero agradecer ao Guilherme Martins que mesmo pela distância a amizade prevalece.

Quero agradecer a minha amiga Laís por sempre ter me incentivado a continuar não deixando levar pelas dificuldades.

Quero agradecer aos meus amigos Luciano, Guilherme, Pedro, Thyago, Marcos e Enrique pelo auxílio em diversas etapas dessa pesquisa.

Aos amigos Lucas Vieira, João Godinho, Victor Afonso e Caio Eckhardt pela amizade e por terem me ajudado sempre que precisei.

Aos técnicos Bruno Henrique Rocha, Danilo Henrique Pereira, Paulo Henrique da Cunha, Jader Alves Ferreira e Vinicius Guimarães Nasser pelo auxílio e orientações durante o desenvolvimento das atividades de pesquisa.

A Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A todas as pessoas que contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho, o meu muito obrigado!

*“Nunca tenha certeza de nada,
pois a sabedoria começa com a dúvida”.*

(Sigmund Freud)

BIOGRAFIA

Carlos Diego da Silva nasceu em Araxá-MG no dia 26 de julho de 1991. Em 2008 concluiu o Ensino Médio na Escola Estadual Rotary, na cidade de Araxá-MG. Em 2012, iniciou o Curso de Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba. Participou de trabalhos de pesquisa nas áreas: fisiologia vegetal (ênfase em ecofisiologia do cafeeiro) e nutrição de plantas (ênfase em nutrição do cafeeiro). Em 2016, graduou-se Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba (UFV-CRP), Minas Gerais, Brasil. Em 2017, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal pela Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, submetendo-se à defesa de dissertação em 12 de novembro de 2019.

RESUMO

SILVA, Carlos Diego da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2019. **Retranslocação de nutrientes em variedades de café arábica como ferramenta de manejo de adubação.** Orientador: Leonardo Angelo de Aquino. Coorientadores: André Mundstock Xavier de Carvalho e Roberto Ferreira de Novais.

As recomendações de adubação do cafeeiro são realizadas com base na disponibilidade de nutrientes no solo, através de análises químicas, como também, a partir do teor foliar de nutrientes. Contudo, as cultivares de café que são empregadas no Brasil podem apresentar características contrastantes quanto ao padrão de retranslocação e aos teores foliares de nutrientes. Essas características podem ser diferentes entre cultivares e também dependem do grau de desenvolvimento dos frutos. Portanto, a presente pesquisa teve por objetivo avaliar o padrão de retranslocação de nutrientes entre duas cultivares de café e avaliar os teores foliares de nutrientes em seis cultivares de café. O primeiro experimento que teve por objetivo avaliar a retranslocação de nutrientes e foi instalado em setembro de 2018 em lavoura comercial com duas cultivares de café (Catuaí Vermelho IAC 144 e IAC 125 RN) e coletado folhas em quatro estádios vegetativos (folha jovem, folha índice, folha senescente e folha decídua). No segundo experimento foram coletadas folhas em quatro estádios de desenvolvimento de frutos (maturação das gemas florais, chumbinho, expansão dos frutos e granação dos frutos) em seis cultivares de café (Acauã Novo, Bourbon Amarelo, Catuaí Vermelho IAC 144, Catucaí 20/15, IAC 125 RN e IPR 100). Em ambas as cultivares a retranslocação de macronutrientes ocorre em maiores taxas da folha índice para a folha jovem, a sequência de retranslocação dos nutrientes foi: P>K>N>Mg>S. Na variedade Catuaí Vermelho IAC 144 a retranslocação de micronutrientes da folha índice para a folha jovem ocorre da seguinte forma: Zn>B>Fe>Cu>Mn, já para a variedade IAC 125 RN a retranslocação é maior para o Zn e segue para Cu>B>Fe>Mn. O estudo sobre o efeito de época de coleta de folhas sobre o teor foliar de nutrientes mostrou que há diferenças entre as épocas analisadas e também diferenças entre as cultivares. Desta forma, a coleta de folhas deve ser realizada com base na fenologia de desenvolvimento de frutos e que cada nutriente ou grupo de nutrientes seja coletado em épocas específicas.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. Remobilização. Diagnose foliar.

ABSTRACT

SILVA, Carlos Diego da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2019.
Nutrient relocation in arabica coffee varieties as a fertilizer management tool.
Adviser: Leonardo Angelo de Aquino. Co-advisers: André Mundstock Xavier de Carvalho and Roberto Ferreira de Novais.

Fertilizer recommendations for coffee are based on nutrient availability in the soil, through chemical analysis, as well as from the leaf nutrient content. However, coffee cultivars that are employed in Brazil may have contrasting characteristics, such as retranslocation pattern and leaf nutrient content. These characteristics may differ between cultivars and may also be influenced by fruit development. Therefore, the present research aimed to evaluate the nutrient retranslocation pattern between two coffee cultivars and to evaluate the leaf nutrient content in six coffee cultivars. The first experiment to evaluate nutrient retranslocation was installed in September 2018 in a commercial crop, two coffee cultivars (Red Catuaí IAC 144 and IAC 125 RN) were harvested and leaves were collected in four vegetative stages (young leaf, index leaf, senescent leaf and deciduous leaf). In the second experiment, leaves were collected at four stages of fruit development (flower bud maturation, pellet, fruit expansion and fruit grinding) in six coffee cultivars (New Acauã, Yellow Bourbon, Red Catuaí IAC 144, Catucaí 20/15, IAC 125 RN and IPR 100). It was verified that there is a difference in the nutrient retranslocation pattern between the two cultivars Red Catuaí IAC 144 and IAC 125 RN, the low mobility nutrients in the plant must be parceled, since the nutrients that are retranslocated via phloem do not need several installments. The study of the effect of leaf glue on the leaf nutrient content showed that there are differences between the analyzed seasons and also differences between cultivars. Thus, leaf collection should be performed based on fruit development phenology and that each nutrient or group of nutrients be collected at specific times.

Keywords: *Coffea arabica*. Remobilization. Leaf diagnosis.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	11
REFERÊNCIAS.....	13
1º CAPÍTULO – RETRANSLOCAÇÃO DE NUTRIENTES EM FOLHAS DE CAFÉ DAS CULTIVARES CATUAÍ VERMELHO IAC 144 E IAC 125 RN.....	14
RESUMO.....	14
ABSTRACT.....	15
INTRODUÇÃO.....	16
MATERIAL E MÉTODOS.....	17
RESULTADOS.....	20
DISCUSSÃO.....	26
CONCLUSÕES.....	29
AGRADECIMENTOS.....	29
REFERÊNCIAS.....	30
2º CAPÍTULO - ÉPOCAS ADEQUADAS PARA COLETA DE FOLHAS COM BASE NA FENOLOGIA DO CAFEIEIRO.....	34
RESUMO.....	34
ABSTRACT.....	35
INTRODUÇÃO.....	36
MATERIAL E MÉTODOS.....	37
RESULTADOS.....	39
DISCUSSÃO.....	43
CONCLUSÕES.....	46
AGRADECIMENTOS.....	46
REFERÊNCIAS.....	47
CONCLUSÕES GERAIS.....	48

INTRODUÇÃO GERAL

A área plantada de café arábica no Brasil ocupa 1,73 milhão de hectares, correspondendo a 81% do parque cafeeiro. O estado de Minas Gerais possui a maior parte das lavouras cafeeiras com a espécie arábica, sendo 1,22 milhão de hectares o que representa 70% do parque cafeeiro do Brasil. Para a safra de 2019 é previsto uma redução de produtividade em quase todas as regiões produtoras, principalmente do café arábica, efeito da bienalidade negativa, estimasse que a produtividade média ficasse em torno de 23,79 sacas por hectare bem abaixo da produtividade média obtida em de 2018 que foi de 33 sacas por hectare (CONAB, 2019).

Para reduzir o efeito da bienalidade do café e gerar uma boa produtividade o cafeicultor deve empregar técnicas de manejo que favoreçam o adequado desenvolvimento da cultura, como por exemplo, adubação na época certa e na quantidade correta, manejo de podas e emprego da irrigação. Em relação à adubação do cafeeiro existem algumas dúvidas quanto à quantidade adequada de adubo para cada variedade, a forma como esse adubo é fornecido, o período em que a planta pode apresentar maior aproveitamento de um determinado nutriente são pontos de questionamentos por técnicos e pesquisadores. O manejo incorreto da adubação é um dos principais fatores que acarretam em baixa produtividade das culturas (Martinez et al. 2003; Guimarães e Reis, 2010).

Para entender essas questões é necessário estudar como o nutriente se comporta na planta verificando a taxa de retranslocação de cada nutriente. Saber se um nutriente é móvel ou não na planta possibilita determinar o momento ideal de aplicá-lo na lavoura. Os nutrientes que são móveis na planta podem ser aplicados em períodos de tempo maiores, os que apresentam baixa mobilidade devem ser aplicados em doses menores e com maior frequência.

A taxa de retranslocação pode ser diferente entre cultivares de café, visto que, existem cultivares com características contrastantes em relação ao porte da planta, o sistema radicular e período de maturação dos frutos. Não é coerente afirmar que cultivares com sistema radicular diferentes apresente a mesma taxa de retranslocação, espera-se que a variedade com uma área radicular menor dependa mais da retranslocação de nutrientes (Matiello et al., 2015).

A partir do entendimento da retranslocação de nutrientes, outros questionamentos são formulados, uma questão que é levantada é se a época de coleta de

folhas para diagnose foliar deve ser igual para macro e micronutrientes. E se o teor foliar de nutrientes pode ser diferente entre cultivares em determinados períodos de desenvolvimento do cafeeiro (Partelli et al. 2014; Martinez et al. 2003).

A coleta de folhas para diagnose foliar é realizada em períodos onde o nutriente se encontra com maior teor nas folhas, no entanto, essa recomendação se torna geral a partir do momento que sabemos que há diferenças entre cultivares que podem alterar o padrão de absorção e retranslocação de nutrientes. Portanto, verificar se há diferença no teor foliar de nutrientes a partir da fenologia de desenvolvimento dos frutos, pode ser uma alternativa mais interessante e coerente com o padrão de desenvolvimento de cada cultivar.

A partir do exposto, o objetivo dessa pesquisa é verificar a retranslocação de nutrientes em duas cultivares de café, além de analisar o efeito de épocas de coleta de folhas para diagnose foliar com base na fenologia do café.

REFERÊNCIAS

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2019). Acompanhamento da safra brasileira. v.5. n. 3, p. 1-48.

GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P. Nutrição e Adubação do Cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café Arábica do Plantio a Colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. p. 343-414.

MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.6, p.703-713, 2003.

MATIELLO, J. B., SANTINATO, R., ALMEIDA, S. R., GARCIA, A.W. R. **Cultura de café no Brasil: Manual de recomendações**, Futurama, 2015. p. 585.

PARTELLI F. L., ESPINDULA M. C., MARRÉ W. B., VIEIRA H. D. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of conilon coffee with different ripening cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 38, n.1, p. 214-22, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100021>.

CAPÍTULO 1

RETRANSLOÇÃO DE NUTRIENTES EM FOLHAS DE CAFÉ DAS CULTIVARES CATUAÍ VERMELHO IAC 144 E IAC 125 RN.

RESUMO

Conhecer a retranslocação de nutrientes na planta pode auxiliar no manejo da adubação do cafeeiro, especialmente quanto ao momento ideal de aplicação, necessidade de parcelamentos e modos de aplicação. Desta forma, objetivou-se avaliar a retranslocação de nutrientes em folhas de café das cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e IAC 125 RN. Os tratamentos consistiram da utilização de duas variedades de café (Catuaí Vermelho IAC 144 e IAC 125 RN) e de folhas de café em quatro estádios fenológicos. A folha índice da variedade Catuaí Vermelho IAC 144 apresentou maior taxa fotossintética e condutância estomática, já a condutância interna de CO₂ foi maior nas folhas jovem e senescente, as folhas índice e senescente apresentaram as maiores eficiências de uso da água. Nas análises de pigmentos foi verificado que a clorofila a, b e total apresentaram maiores concentrações na folha índice, enquanto que as maiores de carotenoides ocorreram nas folhas jovem e senescente. Os maiores teores de N, P, K e Zn na variedade Catuaí Vermelho IAC 144 ocorreram nas folhas jovens e os maiores de Ca e Fe na folha senescente, o magnésio apresentou os maiores valores nas folhas jovem, senescente e decídua, o S e Mn não apresentaram diferença entre as folhas analisadas, o Cu apresentou os maiores valores nas folhas índice, senescente e decídua. Os maiores teores de N, P, K na variedade IAC 125 RN ocorreram nas folhas jovens, e os maiores de Ca e Mg na folha decídua e o S nas senescentes e decíduas, o B apresenta maior teor na folha índice, o Fe e Cu na folha decídua, o Mn nas folhas senescente e decídua, já o Zn nas folhas jovem e decídua. A deficiência nutricional pode acarretar em alterações fisiológicas do cafeeiro, a retranslocação de nutrientes deve ser considerada no momento de recomendar a adubação. Aqueles nutrientes que apresentam baixa mobilidade na planta sua aplicação deve ser parcelada, já os nutrientes que apresentam mobilidade via floema não há necessidade de vários parcelamentos, aplicação foliar de Zn é uma alternativa de fornecimento desse nutriente, visto que, o mesmo apresenta retranslocação e possui alta afinidade com a fase mineral do solo.

Palavras-chave: *Coffea arábica*. Trocas gasosas. Pigmentos. Remobilização.

RETRANSLOCATIONS OF NUTRIENTS IN COFFEE SHEETS OF CATUAY RED CULTIVARS IAC 144 AND IAC 125 RN

ABSTRACT

Knowing the nutrient retranslocation in the plant can help in the management of coffee fertilization, especially regarding the ideal time of application, need for installments and ways of application. Thus, the objective was to evaluate the nutrient retranslocation in coffee leaves of the cultivars Red Catuaí IAC 144 and IAC 125 RN. The treatments consisted of two coffee cultivars (Red Catuaí IAC 144 and IAC 125 RN) and coffee leaves in four phenological stages. The index leaf of variety Red Catuaí IAC 144 presented the highest photosynthetic rate and stomatal conductance, while the internal conductance of CO₂ was higher in the young and senescent leaves, the index and senescent leaves showed the highest water use efficiencies. Pigment analysis showed that chlorophyll a, b and total presented higher concentrations in the index leaf, while the highest carotenoids occurred in young and senescent leaves. The highest levels of N, P, K and Zn in variety Red Catuaí IAC 144 occurred in young leaves and the highest Ca and Fe in senescent leaves. Magnesium presented the highest values in young, senescent and deciduous leaves, S and Mn. Showed no difference between the analyzed leaves, Cu presented the highest values in the index, senescent and deciduous leaves. The highest levels of N, P, K in variety IAC 125 RN occurred in young leaves, and the highest levels of Ca and Mg in deciduous leaves and S in senescent and deciduous leaves, B presented higher content in index leaf, Fe and Cu in deciduous leaf, Mn in senescent and deciduous leaves, Zn in young and deciduous leaves. Nutritional deficiency can lead to physiological changes in coffee, nutrient retranslocation should be considered when recommending fertilization. Those nutrients that have low mobility in the plant should be splitted, since the nutrients that have mobility via phloem no need for several splittings, Zn leaf application is an alternative supply of this nutrient, since it has remobilization and has high affinity with the soil mineral phase.

Keywords: *Coffea Arabica*. Gas exchange. Pigments. Remobilizations.

INTRODUÇÃO

A variabilidade e sazonalidade da disponibilidade de nutrientes no solo podem em função da adubação, demanda da planta e a disponibilidade de água, comprometer o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do cafeeiro. As reservas e posterior retranslocação de nutrientes contribuem para atender a demanda inicial de órgãos em desenvolvimento, como por exemplo, ramos novos e flores, mesmo com as adubações atrasadas ou que a disponibilidade hídrica no solo não esteja adequada. Desta forma, o padrão de absorção e sua mobilidade são fundamentais para a compreensão dos fluxos de nutrientes nas plantas e para o manejo da adubação (Brant & Chen, 2015).

A retranslocação de nutrientes ocorre através do floema, folhas maduras tornam-se fontes para atender o crescimento de órgãos jovens (Abdallah et al., 2010) como raízes, ramos, caule e frutos (Lima Filho & Malavolta, 2003). Após a retranslocação do nutriente as folhas consideradas como fontes entram em processo de senescência (Avice & Etienne, 2014).

A senescência ocorre antes que qualquer amarelecimento das folhas possa ser observado. Sua função principal é o catabolismo bem organizado dos constituintes celulares (Clemente et al, 2018) para redirecionamento à formação de estruturas celulares nas parte jovens do vegetal. É essencial que as células permaneçam vivas por mais tempo para que ocorra a reciclagem de nutrientes (Diaz et al, 2008).

A retranslocação do nutriente através do floema irá depender de sua mobilidade na planta. Macronutrientes como, N, P, K, Mg e S, são altamente móveis no floema, o Ca por se tratar de um nutriente que compõe a parede celular não é retranslocado via floema, os micronutrientes Fe, Zn, Cu, Ni, Mo, B e Cl, exceto o Mn, possuem mobilidade moderada (White, 2012).

Além da retranslocação de nutrientes para atender a demanda de folhas novas, as flores do cafeeiro constituem um forte dreno de nutrientes (Malavolta et al. 2002). Além das flores, os frutos em desenvolvimento podem gerar uma mobilização excessiva de nutrientes das folhas maduras causando desfolha acentuada no cafeeiro, isso ocorre devido a uma pequena razão entre folhas e frutos (Rena et al. 1983). Em plantas de três anos de idade, os nutrientes que são retranslocados para os botões florais, são responsáveis por atender até 24% da demanda desse órgão. A partir da senescência foliar ocorre a degradação da molécula de clorofila, liberando nitrogênio cujas formas de armazenamento são principalmente proteínas e aminoácidos (Maillard et al., 2015).

Reichardt et al. (2009) relatam que após dois anos de aplicação de sulfato de amônio, em doses de 280 (1º ano) e 350 (2º ano) kg ha⁻¹ de N, em quatro aplicações iguais realizadas no período de taxas de crescimento positivo, as recuperações do N do fertilizante foram 19,1% pela parte aérea e 9,7% pelas raízes, restando 12,6% no solo e 11,2% na serrapilheira; 0,9% foi perdido por volatilização e 2,3% por lixiviação; 26,3% foram exportados pela colheita e 18,2% permaneceram em compartimentos não avaliados. Dos 630 kg ha⁻¹ de N aplicados nos dois anos, ao final 180 Kg ha⁻¹ se encontravam na planta (parte aérea mais raiz), o que equivale a 28,5%. O fósforo apresenta acúmulo de 14,2 g/planta, desse total, 33% é acumulado no ramo ortotrópico, 12% nos ramos plagiotrópicos, 24% nas folhas, 16% em frutos e 15% nas raízes, para o potássio 30% é acumulado nas folhas, 25% no ramo ortotrópico, 12% nos ramos plagiotrópicos, 19% nos frutos e 14% nas raízes (Bragança et al. 2008). O acúmulo de nutrientes na parte aérea mais raiz representa uma fonte alternativa de nutrientes em períodos de escassez no solo, podendo ser remobilizado de acordo com a demanda da planta.

Avaliações gerais da retranslocação da maioria dos nutrientes durante o crescimento são bem documentadas para culturas anuais e escassas para culturas arbóreas como o café. Plantas como trigo (*Triticum aestivum*) e a cevada (*Hordeum vulgare*) são mais eficientes na retranslocação de nutrientes, já o milho (*Zea mays*) é considerado menos eficiente (Maillard et al. 2015). O padrão de retranslocação pode ser influenciado pela espécie e variedade o que resultaria em estratégias distintas de amostragem de folha para diagnose foliar e para o manejo de fertilizantes.

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a retranslocação de macro e micronutrientes, trocas gasosas e de pigmentos em folhas em diferentes estádios fenológicos, na cultura do café das variedades Catuaí Vermelho IAC 144 e IAC 125 RN.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em lavoura comercial de café localizada em Rio Paranaíba-MG (19°10'34.3"S 46°06'23.8"W) em setembro de 2018, com as variedades Catuaí Vermelho IAC 144 e IAC 125 RN. As lavouras foram instaladas em dezembro de 2016 no espaçamento de 3,70 x 0,63 m, com sistema de irrigação via gotejo. O clima da região é classificado como Cwa, temperado húmido com inverno seco e verão

quente, o período chuvoso é concentrado nos meses de outubro a março (Alvares et al. 2013).

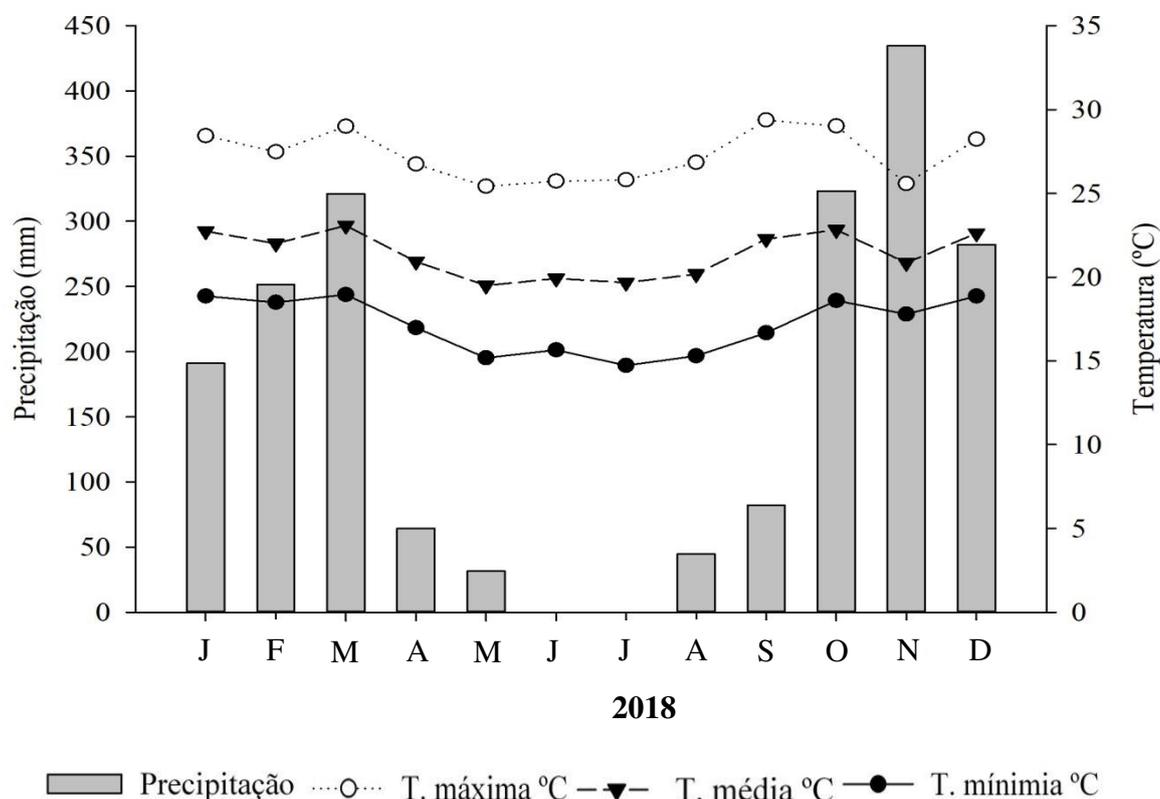


Figura 1. Temperaturas máxima, média e mínima e precipitações mensais, referente ao ano de 2018 em Rio Paranaíba – Minas Gerais.

Os tratamentos consistiram de duas variedades de café (Catuaí Vermelho IAC 144 e IAC 125 RN) e de folhas de café em quatro estádios fenológicos. A definição do estágio fenológico das folhas foi feita com base na posição das folhas no ramo plagiotrópico. As folhas jovens eram aquelas localizadas no primeiro par de folhas totalmente expandido, folhas diagnósticas localizadas no terceiro par, senescentes (cloróticas) folhas localizadas mais próximas ao ramo ortotrópico e folhas decídua, folhas recém-caídas localizadas na projeção da copa das plantas em estudo, em 6 repetições com 6 plantas por repetição. Foram colhidas quatro folhas de cada estágio fenológico por planta, a lavoura encontrava-se em pleno florescimento. As coletas foram realizadas no terço médio das plantas de café, porção da planta comumente utilizada para coleta de material vegetal (Matiello et al., 2015). Para as análises de nutrientes adotou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (2x4). Para as análises de trocas gasosas e pigmentos os tratamentos consistiram de duas

variedades de café (Catuaí Vermelho IAC 144 e IAC 125 RN) e de folhas de café em três estádios fenológicos (folhas jovens, diagnóstica e senescente). Para as análises de trocas gasosas, foram feitas leituras em folhas dos três estádios fenológicos e posteriormente essas folhas foram colhidas para a realização das análises de pigmentos. Para as análises de trocas gasosas e pigmentos adotou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (2x3).

A escolha dessas variedades para instalação do experimento seguiu critérios agrônômicos e as características contrastantes entre elas. A variedade Catuaí Vermelho IAC 144 apresenta porte baixo; internódios curtos; ramificação secundária abundante, frutos vermelhos (Carvalho, 2008). O Catuaí apresenta ramos plagiotrópicos compactos o que dificulta a penetração de luz, o que faz com que a floração e maturação ocorram de forma desigual e tardia. Em termos nutricionais, evidencia com menor intensidade a deficiência de magnésio devido à diluição da exigência para a granação dos frutos em um período mais longo, apresenta exigência em B. A produtividade média do Catuaí Vermelho IAC 144 está em torno de 35,28 sacas por hectare, grãos com peneira média 16 (Lima et al., 2016). O IAC 125 RN é uma variedade de porte baixo, apresenta uma qualidade de bebida superior, boa produtividade, com peneira média 17, alta resistência à ferrugem e a *Meloidogyne exigua*, é exigente em nutrição e mais sensível à seca do que a variedade Catuaí Vermelho IAC 144 recomenda-se podar as lavouras em períodos mais curtos, em até 10 anos (Matiello et al. 2015).

Para verificar a eficiência fotossintética das folhas nos diferentes estádios fenológicos foram feitas avaliações de taxa fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e eficiência instantânea no uso de água [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) / (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})$]. Todas as variáveis descritas foram analisadas no período da manhã (8h às 10h) sob luz artificial saturante ($1.200 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração ambiente de CO_2 , com o uso de analisador de gás infravermelho portátil, modelo LICOR 6400XT (Li-COR, Lincoln, NE, EUA). As avaliações foram realizadas anteriormente a coleta das folhas para análise nutricional.

Após a coleta de folhas para análise de pigmentos foi retirado 0,1 grama de tecido vegetal de cada folha nos três estádios fenológicos. Foi colocado em tubo falcon 0,1 grama de tecido vegetal e adicionado 10 ml de acetona a 80% e deixado por um período de 72 horas no escuro. Após as 72 horas o material foi vertido em cubeta e submetido à leitura no espectrofotômetro UV/visível nos comprimentos de ondas de 645 e 663nm

para clorofila a, b e total, para carotenoides utilizou o comprimento de onda de 475nm. A partir dessa leitura determinou-se a concentração de clorofila a, b, totais e carotenoides.

Para determinação dos nutrientes, as folhas foram coletadas e lavadas logo em seguida com água destilada para retirada de eventuais impurezas, posteriormente foram desidratadas em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C, por 72 horas. Posteriormente as folhas secas foram moídas em moinho tipo Willey equipado com peneira de 1 mm. As amostras foram digeridas em solução nitro-perclórica e quantificados os nutrientes P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Cu, Mn e Zn (Embrapa 2009). Para determinação de N as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica conforme métodos descritos em Miyazawa (2009).

A retranslocação de nutrientes nas folhas foi estimada conforme método descrito por Vitousek e Sanford (1986), que leva em consideração a retranslocação do cálcio, elemento praticamente imóvel, que serviu como referência. Para este estudo, utilizou-se a equação adaptada por Chuyong, Newbery e Songwe (2000) (Equação).

$$TR (\%) = \left\{ 1 - \left[\frac{NFd}{CaFV} \right] / \left(\frac{NF}{CaFJ} \right) \right\} \times 100$$

Em que:

TR (%) = Taxa de retranslocação do nutriente;

NFd = Nutriente avaliado na folha;

NF = Nutriente avaliado na folha decídua;

CaFV = Ca na folha cronologicamente mais velha;

CaFJ = Ca na folha cronologicamente mais jovem.

Os dados de trocas gasosas, pigmentos e de teores de nutrientes foram submetidos à análise de variância e os efeitos dos tratamentos foram comparados pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK) a 5%.

RESULTADOS

A folha índice da variedade Catuaí Vermelho IAC 144 apresenta maior taxa fotossintética que as demais folhas dessa variedade. A taxa assimilatória líquida é similar entre as folhas jovens e senescentes para a variedade Catuaí Vermelho IAC 144. Na variedade IAC 125 RN, a taxa assimilatória líquida foi igual entre as três folhas analisadas (Figura 2a).

Maiores valores de condutância estomática foram observados nas folhas jovens. Novamente, a folha diagnóstica do Catuaí Vermelho IAC 144 apresentou maior condutância estomática quando comparada com a mesma folha da IAC 125 RN (Figura 2b).

A condutância interna de CO₂ apresenta valores superiores nas folhas jovens e senescentes, as folhas diagnósticas apresentaram os menores valores de condutância interna, esse resultado é semelhante para ambas às variedades, além disso, seu resultado é o inverso dos valores de fotossíntese e eficiência instantânea de carboxilação (Figura 2c).

A eficiência de uso da água pelas folhas é o inverso do processo de transpiração e condutância estomática, observa-se que as folhas índice e senescente são mais eficientes no uso da água (Figura 2d).

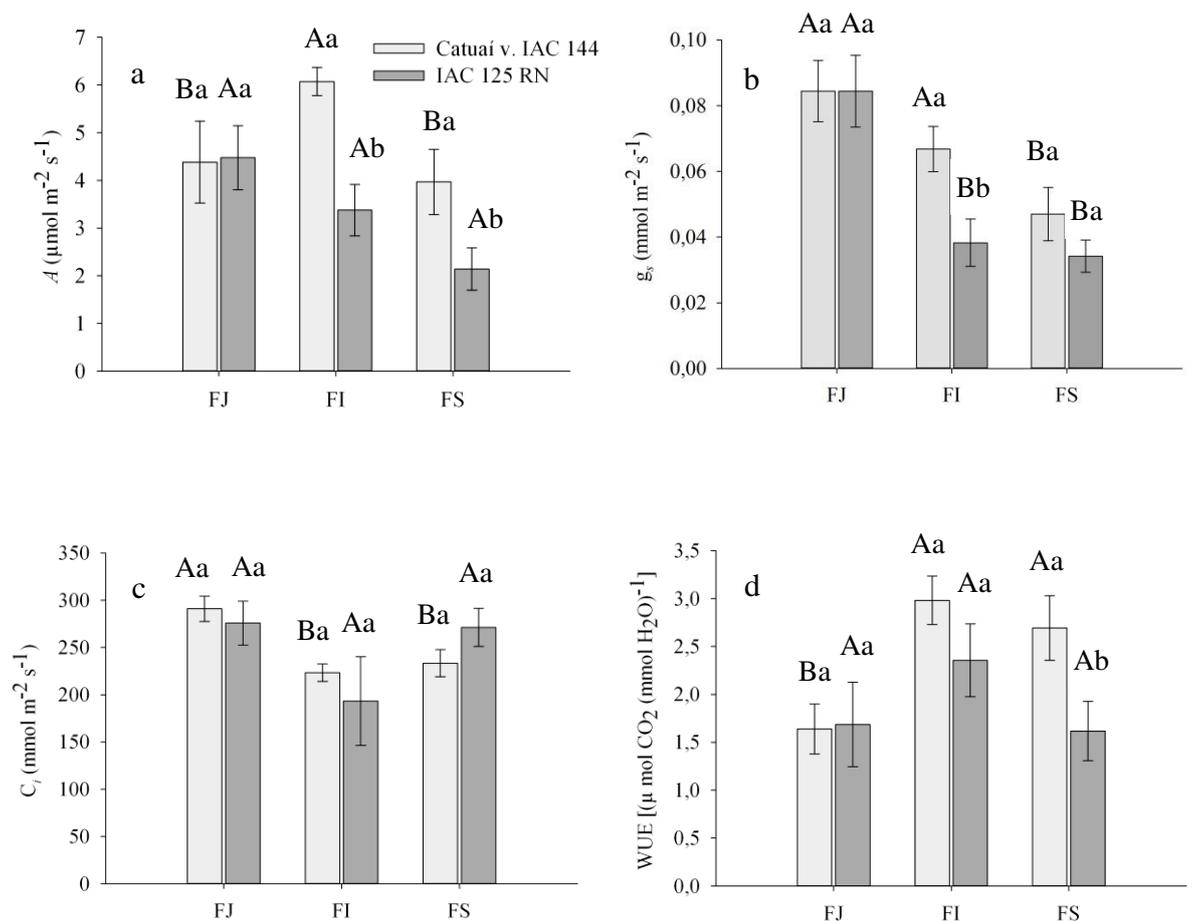
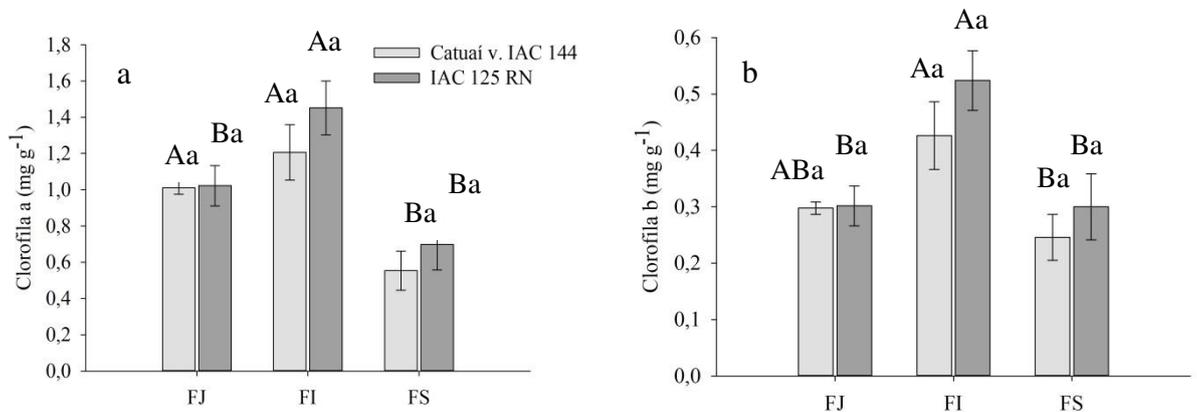


Figura 2. Fotossíntese A (a), Condutância estomática g_s (b), Concentração interna C_i (c), Eficiência de uso da água WEU (d). FJ: folha jovem, FI: folha índice, FS: folha senescente. Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não difere entre as folhas analisadas pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK) a 5 % de significância. Médias

seguidas por uma mesma letra minúscula não difere entre as cultivares pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK) a 5 % de significância.

As variáveis, Clorofila a, Clorofila b e Clorofila total não apresentam diferença significativa entre as cultivares. No entanto, os teores desses pigmentos são dependentes da folha analisada dentro de cada variedade. A variedade Catuaí Vermelho IAC 144 não apresenta diferença estatística no teor de Clorofila a, b e total nas folhas jovem e índice, contudo a folha senescente apresenta baixos teores desses pigmentos. A variedade IAC 125 RN apresenta maior quantidade de clorofila a, b e total na folha índice. (Figuras 2a, b, c).

O teor de carotenoide nas folhas segue um padrão inverso dos demais pigmentos, como está relacionado à foto-proteção espera-se que apresente baixos teores em folhas que estão fotossinteticamente ativas. Na variedade Catuaí Vermelho IAC 144 os maiores teores de carotenoide foram encontrados na folha jovem e senescente, a folha índice apresenta maiores teores de Clorofila a, b e total, portanto sua atividade de foto-proteção é baixa, o que reflete nos menores teores de carotenoides. A variedade IAC 125 RN não apresenta diferença desse pigmento entre as folhas analisadas (Figura 2d).



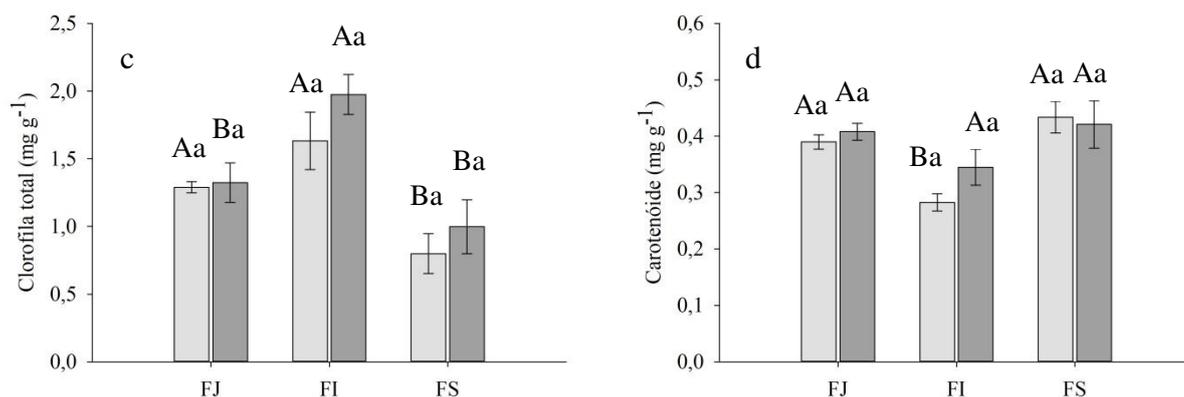


Figura 3. Clorofila a (a), Clorofila b (b), Clorofila total (c) e Carotenóide (d). FJ: folha jovem, FI: folha índice, FS: folha senescente. Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não difere entre as folhas analisadas pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK) a 5 % de significância. Médias seguidas por uma mesma letra minúscula não difere entre as cultivares pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK) a 5 % de significância.

As folhas jovens apresentaram maiores teores de N, P, e K em relação às folhas mais velhas. Essa redução ocorre porque os nutrientes mencionados são móveis na planta, sendo retranslocados via floema conforme a demanda nutricional da planta.

Nas folhas da variedade Catuaí Vermelho IAC 144 o menor teor de Mg ocorre na folha índice e não há diferença nesse teor nas demais folhas. Na variedade IAC 125 RN os teores de Mg foram similares nas folhas jovem, índice e senescente e estes menores que na folha decídua. O Ca por se tratar de um nutriente estrutural não é retranslocado, acumulando em folhas mais velhas. O S apresentou padrões diferentes de teor entre as duas cultivares, no Catuaí Vermelho IAC 144 não apresentou diferença significativa, no IAC 125 RN acumulou nas folhas senescentes e decíduas, como exemplo do Ca o S praticamente não é retranslocado, pois faz parte de compostos orgânicos fixados em estruturas celulares (Tabela 2).

Tabela 1 - Teores de nutrientes em função dos tipos de folhas analisadas e variedades de café.

	Catuaí Vermelho IAC 144				IAC 125 RN			
	Folha Jovem	Folha Índice	Folha Senescente	Folha Decídua	Folha Jovem	Folha Índice	Folha Senescente	Folha Decídua
	----- g kg ⁻¹ -----							
N	37.0 Ab	28.5 Ba	18.9 Ca	19.2 Ca	40.4 Aa	27.7 Ba	20.7 Ca	20.6 Ca
P	3.9 Ab	1.9 Ba	0.9 Cb	0.8 Ca	4.5 Aa	2.0 Ba	1.2 Ca	1.0 Da
K	27.7 Aa	18.3 Ba	15.5 Ba	15.7 Ba	22.7 Ab	17.1 Ba	16.1 Ba	14.3 Ba
Ca	10.9 Da	16.3 Ca	22.2 Ba	25.4 Aa	8.1 Db	13.4 Cb	21.6 Ba	25.5 Aa
Mg	2.9 Aa	2.6 Ba	3.0 Aa	3.2 Aa	2.2 Bb	2.1 Bb	2.4 Bb	2.8 Ab
S	2.1 Aa	2.1 Aa	2.2 Ab	2.0 Ab	1.9 Bb	2.0 Ba	2.4 Aa	2.4 Aa
	----- mg kg ⁻¹ -----							
B	48.6 Ab	48.3 Ab	49.6 Ab	48.3 Ab	75.1 Ba	97.3 Aa	62.5 Ca	61.8 Ca
Fe	876 Ca	1136 Ca	2089 Bb	3897 Aa	702 Da	1045 Ca	2480 Ba	3487 Ab
Cu	49 Ba	55 ABa	58 ABa	65 Aa	51 Ba	43 Bb	54 Ba	68 Aa
Mn	58 Aa	87 Aa	95 Ab	108 Ab	73 Ba	112 Ba	268 Aa	302 Aa
Zn	103 Aa	79 Ba	91 Ba	87 Bb	113 Aa	83 Ca	99 Ba	106 Aba

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas não diferem entre os tipos de folhas e médias seguidas por mesma letra minúsculas não diferem entre variedades pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK) a 5 % de significância.

FJ: folha jovem; FI: folha índice; FS: folha senescente; FD: folha decídua.

O maior teor de Fe ocorreu nas folhas decíduas de ambas as variedades, o Cu apresentou maior teor na folha decídua da variedade IAC 125 RN. O Mn apresentou diferença significativa apenas na variedade IAC 125 RN, esse micronutriente é considerado pouco móvel na planta, portanto tende a acumular em folhas mais velhas. O Zn apresenta baixa retranslocação na planta, na variedade Catuaí Vermelho IAC 144 o Zn foi retranslocado para as folhas jovens, esse resultado pode estar relacionado com uma maior disponibilidade desse nutriente no momento de desenvolvimento dos tecidos mais jovens. Na variedade IAC 125 RN, ocorreu uma variação em seu acúmulo, houve uma redução da folha jovem para a folha índice e aumentando em seguida para as folhas senescentes e decíduas.

A retranslocação de macronutrientes nas variedades Catuaí Vermelho IAC 144 e IAC 125 RN ocorre em maiores taxas da folha índice para a folha jovem a sequência de retranslocação dos nutrientes foi: P>K>N>Mg>S. A retranslocação da folha senescente para a folha índice, na variedade Catuaí Vermelho IAC 144 ocorreu para os macronutrientes na ordem P>N>K. Na variedade IAC 125 RN a retranslocação de macronutrientes da folha senescente para a folha índice ocorrem na sequência:

P>N>K>Mg>S. A retranslocação da folha decídua para a folha senescente apresenta diferença na ordem dos nutrientes entre as variedades, na variedade Catuaí Vermelho IAC 144 a sequência de retranslocação ocorre na sequência P>S >K>N>Mg, na variedade IAC 125 RN a retranslocação segue: P>K>Na>N>S>Mg (Tabela 2).

Tabela 2. Taxa de retranslocação de macro e micronutrientes em folhas de cafeeiro das variedades Catuaí Vermelho IAC 144 e IAC 125 RN.

Taxa de retranslocação (macronutrientes)						
----- % -----						
	Catuaí Vermelho IAC 144			IAC 125 RN		
	Índice →Jovem	Senescente → Índice	Decídua →Senescente	Índice →Jovem	Senescente → Índice	Decídua →Senescente
N	61.33	35.24	11.20	58.87	53.47	15.74
P	74.68	55.60	20.35	73.41	62.01	30.75
K	66.72	17.43	11.41	54.81	41.26	24.76
Ca	-	-	-	-	-	-
Mg	55.00	0	6.63	41.94	29.54	0.52
S	51.24	0	19.92	36.38	24.38	15.26
Taxa de retranslocação (micronutrientes)						
----- % -----						
B	50.10	0	14.87	22.28	60	16.28
Fe	44.23	44.23	0	10.75	0	0
Cu	34.89	0	0	49.19	23.29	0
Mn	25.76	0	0.61	7.75	0	4.48
Zn	59.38	0	15.22	59.66	29.14	7.80

A retranslocação de micronutrientes da folha índice para a folha jovem na variedade Catuaí Vermelho IAC 144 ocorre da seguinte forma: Zn>B>Fe>Cu>Mn, na variedade IAC 125 RN a retranslocação é maior para o Zn e segue para Cu>B>Fe>Mn (Tabela 2). A variedade Catuaí Vermelho IAC 144 apresentou retranslocação da folha senescente para a folha índice apenas com o Fe, 44,23% foi retranslocado, na variedade IAC 125 RN ocorre retranslocação de Zn, B e Fe, sendo o B com maior taxa de retranslocação, sendo 60%. Os únicos nutrientes retranslocados das folhas decíduas para as folhas senescentes foram, o Zn, B e Mn.

DISCUSSÃO

A fotossíntese é variável entre as folhas de um mesmo ramo plagiotrópico. As folhas jovens e as senescentes apresentam menor fotossíntese, a primeira porque não

apresenta todo o aparato fotossintético formado e a segunda porque está empobrecida devido à retranslocação de nutrientes. As maiores taxas de fotossíntese ocorrem nas folhas índices, que apresentam elevada concentração de nutrientes e aparato bioquímico da fotossíntese completamente desenvolvido. Folhas de sol sob saturação $1.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, os valores de A e g_s são maiores, com 55% a mais em folhas de sol do que nas folhas sombreadas (Martins et al., 2014). Além de diferenças entre folhas de um mesmo ramo, existem diferenças de fotossíntese entre cultivares, isso se deve a genótipos dentro de uma mesma espécie adaptados às restrições do ambiente (Guo et al. 2002).

A folha jovem apresentou maior condutância estomática, esse resultado pode estar relacionado com um maior teor de K nessa folha. É importante que a planta esteja bem nutrida com K, pois ele atua como osmorregulador que contribui para o controle da abertura e fechamento estomático, alterando o influxo de CO_2 (Mao et al. 2018). Além disso, temperaturas elevadas induzem o fechamento estomático, proporcionando menor influxo de CO_2 para as folhas, reduzindo a fotossíntese (DaMatta et al. 2010).

A folha índice apresenta maior eficiência de uso da água, a quantidade de água necessária para fixar um μmol de CO_2 é menor nessa folha. Isso pode estar relacionado ao teor de K na folha índice, visto que o mesmo foi retranslocado para a folha jovem acarretando em menor abertura estomática.

A distribuição da clorofila a, b e total nas folhas segue um mesmo padrão da fotossíntese, esses pigmentos estão relacionados com a captação de luz, portanto é de se esperar um maior acúmulo na folha índice. Folhas que se desenvolvem em ambientes sombreados apresentam uma alta concentração de clorofila por unidade de massa para que haja maior captação de luz (Lambers et al. 2008). No entanto, no presente trabalho, folhas que estavam sombreadas apresentaram menores concentrações de clorofila a, b e total, mas um aumento na concentração de carotenoides.

Os teores de carotenoides nas folhas segue um padrão inverso dos demais pigmentos, como está relacionado à foto-proteção espera-se que apresente baixos teores em folhas que estão fotossinteticamente ativas, a redução observada na folha índice pode estar relacionada com o efeito de diluição e não propriamente a uma redução desse pigmento. Os carotenoides apresentam ação fotoprotetora, dissipam o excesso de energia luminosa (McElroy; Kopsell, 2009).

O Nitrogênio apesar de sua alta mobilidade no floema, não foi o nutriente mais retranslocado. O N apresenta papel importante na expansão da área foliar, na formação de botões florais, é encontrado principalmente nos cloroplastos, fazendo parte da

molécula de clorofila (Carvalho et al., 2010). A molécula de clorofila é a principal reserva de nitrogênio, após a degradação da clorofila o N é retranslocado via floema, onde é redirecionado para outros órgãos em desenvolvimento (Maillard et al., 2015).

A maior taxa de retranslocação foi de P, o que pode estar relacionado às características dos solos de cerrado, solos ricos em ferro e alumínio apresenta alta afinidade com o P, após o contato do fósforo com a fase sólida do solo sua disponibilidade diminui, afetando a absorção desse nutriente pelo vegetal. Em plantas de café jovem a baixa disponibilidade de P reduz em até 50% a matéria seca total da planta, prejudicando o crescimento do cafeeiro (Neto et al. 2016). No período de coleta de folhas as plantas de café estavam em período de pleno florescimento, portanto parte do P armazenado estaria sendo retranslocado para as flores e posterior desenvolvimento dos frutos. O período de maior acúmulo de P nos frutos ocorre entre 83 e 88 dias após a antese, o que eleva a demanda por nutrientes nessa fase, principalmente em lavouras com alto potencial produtivo (Laviola et al. 2009).

A retranslocação de K da folha índice para a folha jovem na variedade Catuaí Vermelho IAC 144 foi de 66,72%, sendo mais retranslocado que o N. O K é utilizado mais intensamente que o nitrogênio (Lima Filho & Malavolta, 2003), principalmente na floração e formação de grãos, pois atua na síntese e transporte de carboidratos para os frutos (Carvalho et al., 2010).

O Ca não apresenta mobilidade no floema, após sua absorção e fixação nas estruturas celulares não há retranslocação, o que faz com que apresente maiores acúmulos em folhas mais velhas (Marques et al., 2018), no entanto, sua disponibilidade é importante para o desenvolvimento de frutos, pois atua em processos de divisão celular e estabilização de membranas e paredes celulares de novas células formadas (Marenco & Lopes, 2005).

Houve retranslocação de 55% de Mg da folha índice para a folha jovem na variedade Catuaí Vermelho IAC 144, a variedade IAC 125 RN apresentou 41,94% de retranslocação na mesma folha. A retranslocação de Mg das folhas mais velhas para as mais novas comumente é intensa e importante na formação de clorofila. Além disso, frutos na fase de chumbinho são exigentes em Mg, portanto sua disponibilidade deve estar em teores adequados nessa fase de desenvolvimento dos frutos (Carvalho et al., 2010; Laviola et al. 2009).

A retranslocação de S foi semelhante a do Mg, tanto para a variedade Catuaí Vermelho IAC 144, como para o IAC 125 RN. O período de maior exigência de S no

crescimento de frutos está na fase de transição de frutos verdes para frutos maduros (Valarini et al. 2005).

A retranslocação de micronutrientes ocorre com maior intensidade da folha índice para a folha jovem, apenas o Fe na variedade Catuaí Vermelho IAC 144 que apresentou retranslocação de 44,23% da folha senescente para a folha índice. Em trabalho realizado na Costa Rica para verificar o acúmulo de micronutrientes na variedade Caturra, foi constatado que as maiores porcentagens de acúmulo de Fe, Cu e Mn ocorre entre 90 e 120 dias após a antese (Ramírez et al. 2002). Nas variedades em estudo o Zn apresentou retranslocação da folha índice para a folha jovem. O Zn apresenta baixa mobilidade na planta, porém em altas concentrações pode haver retranslocação (Silber et al. 2018). Os frutos de café apresentam maior demanda por Zn justamente no mesmo período de maior crescimento vegetativo do cafeeiro, que estende de setembro a maio (Partelli et al. 2013). Esse período de sobreposição pode gerar competição pelo nutriente pelas partes vegetativas e reprodutivas (Marré et al. 2015).

O B é um micronutriente pouco móvel no floema de muitas espécies, não sendo retranslocado para outros órgãos Carvalho et al. (2010). A maior parte do B é complexado ou ligado à parede celular, evitando que seja retranslocado na planta (Matoh et al. 1992). No presente trabalho, ocorreu retranslocação de B em ambas cultivares. Em situações que a planta está bem nutrida em B, parte desse nutriente estará livre, podendo ser retranslocado via floema (Matoh 1997). As variedades em estudo apresentavam teores de B dentro da faixa adequada, que está entre 50-60 mg kg⁻¹ para lavouras em produção (Malavolta 1993).

Além dos quesitos relacionados às características dos solos, é importante observar a mobilidade do nutriente na planta, para determinar o momento de aplicação de nutrientes e o número de parcelamentos. Nutrientes que são pouco móveis na planta devem ser parcelados para atender a demanda de órgãos que estão em desenvolvimento. Os nutrientes que são móveis na planta, como N e K, podem ser fornecidos em poucas aplicações, no entanto, a mineralogia do solo deve ser observada, visto que, são nutrientes passíveis de lixiviação. Para os nutrientes que apresentam mobilidade na planta, uma alternativa é fornecê-los ao final do ciclo agrícola quando o período de chuvas está terminando, esse nutriente será armazenado nas raízes, caule ou folhas, posteriormente quando a planta estiver em pleno florescimento com uma demanda nutricional maior esses nutrientes poderão ser retranslocados para atender a desenvolvimento inicial de flores e frutos. Nesse experimento foi constatado que a

nutrição influencia diretamente em fatores fisiológicos e bioquímicos, portanto, um aporte adequado de nutrientes com aplicações parceladas e em períodos de maior demanda da cultura potencializa os parâmetros fisiológicos e bioquímicos, além de ocorrer um melhor aproveitamento do nutriente evitando que o mesmo fique no sistema e seja fator de contaminação ambiental.

CONCLUSÕES

A eficiência de uso da água pela folha está relacionada ao teor de potássio.

Nutrientes que apresentam pouca mobilidade na planta devem ser aplicados de forma parcelada, atendendo a demanda de órgãos em desenvolvimento.

O B e o Zn em elevadas concentrações nas folhas, pode ser retranslocado via floema.

O Zn foi o micronutriente mais retranslocado e devido à dificuldade de fornecimento pela alta afinidade com a fase mineral do solo a aplicação via foliar pode ser uma alternativa.

AGRADECIMENTOS

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, M.; DUBOUSSET, L.; MEURIOT, F.; ETIENNE, P.; AVICE, J. C.; OURLY, A. Effect of mineral sulphur availability on nitrogen and sulphur uptake and remobilization during the vegetative growth of *Brassica napus* L. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 10, p. 2635-2646, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jxb/erq096>>.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M. SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>>.
- AVICE, J. C.; ETIENNE, P. Leaf senescence and nitrogen remobilization efficiency in oilseed rape (*Brassica napus* L.). **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 14, p. 3813-3824, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jxb/eru177>>.
- BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. E. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; SEDIYAMA, C.; ALVAREZ, V. V. H.; LANI, J. A. Accumulation of macronutrients for the conilon coffee tree. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, n. 1, p. 103-20, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01904160701741990>>.
- BRANT, A. N.; CHEN, H. Y. H. Patterns and mechanisms of nutrient resorption in plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 34, n. 5, p. 471-486, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/07352689.2015.1078611>>.
- CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, R. J.; BASTOS, A. R. R.; BALIZA, D. P.; GONTIJO, R. A. N. (2010). Sintomas de desordens nutricionais em cafeeiro. In: Guimarães, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: UFLA, 2010. 215 p.
- CARVALHO, C. H. S. **Cultivares de café**. (Ed.). Brasília, Embrapa, 2008. p. 247.
- CLÉMENT G.; MOISON M.; SOULAY F.; REISDORF-CREN M.; MASCLAUX-DAUBRESSE C. Metabolomics of laminae and midvein during leaf senescence and source-sink metabolite management in *Brassica napus* L. leaves. **Journal of Experimental Botany**, v.69, n. 4, p. 891- 903, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jxb/erx253>>.
- CHUYONG, G. B.; NEWBERY, D. M.; SONGWE, N. C. Litter nutrients and retranslocation in a central African rain forest dominated by ectomycorrhizal trees. **New Phytologist**, v. 148, n.3, p. 493-510, 2000. Disponível em: <<https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00774.x>>.
- DAMATTA, F. M.; GRANDIS, A.; ARENQUE, B. C.; BUCKERIDGE, M. S. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. **Food Research International**, v. 43, n. 7, p.1814-1823, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.11.001>>.

DIAZ, C.; LEMAITRE, T.; CHRIST A.; AZZOPARDI, M.; KATO, Y.; SATO, F.; MOROT-GAUDRY, J.; DILY, F. L.; MASCLAUX-DAUBRESSE, C. Nitrogen Recycling and Remobilization Are Differentially Controlled by Leaf Senescence and Development Stage in Arabidopsis under Low Nitrogen Nutrition, **Plant Physiology**, v. 147, p. 1437-1449, 2008. Disponível em: < <https://doi.org/10.1104/pp.108.119040>>.

EMBRAPA - Embrapa Solos. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Brasília, DF: Embrapa Solos, 2009. 627p.

GUO, J.; JERMYN, W. A.; TURNBULL, M. H. Diurnal and seasonal photosynthesis in two asparagus cultivars with contrasting yield. **Crop Science**, v. 42, n. 2, p. 399-405, 2002. doi: <https://doi.org/10.2135/culturasci2002.3990>.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D. Macronutrient Accumulation in Coffee Fruits at Brazilian Zona Da Mata Conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, n. 6, p. 980-995, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01904160902872164>>.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS, T. L. **Plant Physiological Ecology**. New York, – Editora Springer, 2008. 604 p.

LIMA FILHO, O. F.; MALAVOLTA, E. Studies on mineral nutrition of the coffee plant (*Coffea arabica* L. cv. catuaí vermelho). LXIV. Remobilization and re-utilization of nitrogen and potassium by normal and deficient plants. **Brazilian Journal of Biology**, v. 63, n.3, p. 481-490, 2003.

LIMA A. E.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, G. R.; BOTELHO, C. E.; CASTRO, E. M.; CARDOSO, D. A. Agronomic performance of ‘Bourbon’s’ group coffee plants populations. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 22-32, 2016.

MARRÉ, W. B.; PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C.; DIAS, J. R. M.; GONTIJO, I.; VIEIRA, H. D. Micronutrient Accumulation in Conilon Coffee Berries with Different Maturation Cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n. 5, p.1456-1462, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140649>.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. **Cultura de café no Brasil: Manual de recomendações**, Futurama, 2015. p. 585.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**. São Paulo, SP: Agronômica Ceres, 1993. 126p.

MALAVOLTA, E.; FAVARIN, J. L.; MALAVOLTA, M.; CABRAL, C. P.; HEINRICH, R.; SILVEIRA, J. S. M. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 7, p.1017-1022, 2002.

MAILLARD, A.; DIQUÉLOU, S.; BILLARD, V.; LAINÉ, P.; GARNICA, M.; PRUDENT, M.; GARCIA- MINA, J. M.; YVIN, J. C.; OURRY, A. Leaf mineral nutrient remobilization during leaf senescence and modulation by nutrient deficiency. **Frontiers Plant Science**, v.6, n.13, p. 1-15, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00317>>.

MARQUES, L. F.; SOUTO, J. S.; CAVALCANTE, L. F.; MESQUITA, E. F.; NASCIMENTO, J. A. M. Composição mineral e redistribuição de nutrientes em gravioleira. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 23, n.1, p.1-5, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.12661/pap.2018.006>>.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**, Editora UFV. Viçosa, MG. 2005. p. 451.

MATOH, T.; ISHIGAKI, K. I.; MIZUTAMI, M.; MATSUNAGA, W.; TAKABE, K. Boron nutrition of cultured tobacco BY-2 cells: I. Requirements for an intracellular localization of boron and selection of cells that tolerate low levels of boron. **Plant e Cell Physiology**, v. 33, n. 8, p.135-141, 1992. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a078365>>.

MATOH, T. Boron in plant cell wall. **Plant and Soil**. v. 193, n. 2, p. 59-70, 1997. Disponível em: <<https://doi.org/10.1023/A:1004207824251#citeas>>.

MAO, X.; ZHENG, Y.; XIAO, K.; WEI, Y.; ZHU, Y.; CAI, Q.; CHEN, L.; XIE, H.; ZHANG, J. OsPRX2 contributes to stomatal closure and improves potassium deficiency tolerance in rice. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 495, n.1, p.461-467, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2017.11.045>>.

MARTINS, S. C. V.; GALMÉS, J.; CAVATTE, P. C.; PEREIRA, L. F.; VENTRELLA, M. C.; DAMATTA, F. M. Understanding the Low Photosynthetic Rates of Sun and Shade Coffee Leaves: Bridging the Gap on the Relative Roles of Hydraulic, Diffusive and Biochemical Constraints to Photosynthesis. **Plos One**. v. 9, n. 4, p. 1-10, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095571>>.

McELROY, J. S.; KOPSELL, D. A. Physiological role of carotenoids and other antioxidants in plants and application to turfgrass stress management. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 37, n. 4, p. 327-333, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01140671.2009.9687587>>.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S.; MELO, W. J.; Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (Ed). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** 2 ed. Brasília, DF. Embrapa Informação tecnológica, 2009, p. 191-233.

Neto, A. P.; FAVARIN, J. L.; HAMMOND, J. P.; TEZOTTO, T.; COUTO, H. T. Z. Analysis of Phosphorus use efficiency traits in *Coffea* genotypes reveals *Coffea arabica* and *Coffea canephora* have contrasting phosphorus uptake and utilization efficiencies. **Frontiers Plant Science**, v. 7, p. 1-10, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00408>>.

PARTELLI, F. L.; MARRÉ, W. B.; FALQUETO, A. R.; VIEIRA, H. D.; CAVATTI, P. C. Seasonal vegetative growth in genotypes of *Coffea canephora*, as related to climatic factors. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, n. 8, p. 108-16, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5539/jas.v5n8p108>>.

PORRA, R. J.; THOMPSON, W. A.; KRIEDEMANN, P. E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a

and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectrometry. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.975 n.3, p.384-394, 1989. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0005-2728\(89\)80347-0](https://doi.org/10.1016/S0005-2728(89)80347-0)>.

RAMÍREZ, F.; BERTSCH, F.; MORA, L. Consumo de nutrientes por los frutos y bandolas de café Caturra durante un ciclo de desarrollo y maduración en Aquiares, Turrialba, Costa Rica. **Agronomía Costarricense**, v.26, p.33-42, 2002.

REICHARDT, K.; SILVA, A. L.; FENILLI, T. A. B.; TIMM, L. C.; BRUNO, I. P.; VOLPE, C. A. Relação entre a adubação nitrogenada e as condições hídricas do solo para um cafezal de Piracicaba, SP. **Coffee Science**, v. 4, n. 1, p. 41-55, 2009.

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

SILBER, A.; NAOR, A.; COHEN, H.; BAR-NOY, Y.; YECHIELI, N.; LEVI, M.; NOY, M.; PERES, M.; DUARI, D.; NARKIS, K.; ASSOULINE, S. Avocado fertilization: Matching the periodic demand for nutrients. **Scientia Horticulturae**, v. 241, p. 231-240, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.094>>.

SILVA, L.; MARCHIORI, P. E. R.; MACIEL, C. P.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R.V. Fotossíntese, relações hídricas e crescimento de cafeeiros jovens em relação à disponibilidade de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 965-972, 2010.

VALARINI, V.; BATAGLIA, O. C.; FAZUOLI, L. C. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, v. 64, n. 4, p. 661-672, 2005.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD, R. L. Nutrient cycling in moist Tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 17, n. 2, p. 137-167, 1986.

WHITE, P. J. Long-distance transport in the xylem and phloem. In: MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Academic Press, Croydon, UK. 2012. p. 49-70.

CAPÍTULO 2

ÉPOCAS ADEQUADAS PARA COLETA DE FOLHAS COM BASE NA FENOLOGIA DO CAFEIEIRO PARA DETERMINAR O MOMENTO IDEAL PARA DIAGNOSE FOLIAR

RESUMO

O momento adequado de coleta de folhas para proceder à diagnose foliar deve ser realizado de acordo com o período que apresente o maior teor de um determinado nutriente na folha, o teor pode sofrer influência do estágio fenológico dos frutos de café. Os macros e micronutrientes não apresentam o mesmo padrão quanto ao período de maior teor foliar, portanto é coerente definir épocas diferentes de coleta de folhas para cada nutriente. Desta forma, objetivou com este estudo verificar as épocas mais adequadas para coleta de folhas com base na fenologia do cafeeiro para posterior diagnose foliar. O experimento foi instalado em lavoura comercial da empresa de pesquisa agrícola Santinato e Santinato Cafés, no qual foram empregadas seis variedades de café (Acauã Novo, Bourbon Amarelo, Catuaí Vermelho IAC 144, Catuaí 20/15, IAC 125 RN e IPR 100). As coletas foram realizadas em quatro estádios de desenvolvimento de frutos do cafeeiro (Maturação das gemas florais, chumbinho, expansão dos frutos, granação dos frutos). No geral, os teores foliares de nutrientes aumentaram com a disponibilidade de água no solo. No entanto, o período de maior disponibilidade é variável de acordo com o estágio fenológico dos frutos, mas também é verificado diferenças nos teores quando comparada as cultivares empregadas. Os maiores teores de Fe foram encontrados no estágio de maturação das gemas florais, essa fase compreende ao mês de julho, período com baixa disponibilidade hídrica. Os maiores teores foliares de Zn ocorreram durante as fases de maturação das gemas florais e de chumbinho. A coleta de folhas para diagnose foliar deve ser realizada para cada nutriente em função do estágio fenológico dos frutos.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. Teor foliar. Estádio fenológico.

**SUITABLE TIMES FOR LEAF COLLECTION BASED ON COFFEE
PHENOLOGY TO DETERMINE THE IDEAL TIME FOR FOLIAGE
DIAGNOSIS**

ABSTRACT

The appropriate time of leaf collection for leaf diagnosis should be performed according to the period that has the highest content of a particular nutrient in the leaf, the content may be influenced by the phenological stage of coffee fruits. Macros and micronutrients do not have the same pattern for the period of higher leaf content, so it is consistent to define different times of leaf collection for each nutrient. Thus, this study aimed to verify the most appropriate times for leaf collection based on coffee phenology for later leaf diagnosis. The experiment was carried out in a commercial field of the agricultural research company Santinato and Santinato Cafés, in which six coffee cultivars were used (New Acauã, Yellow Bourbon, Red Catuaí IAC 144, Catucaí 20/15, IAC 125 RN and IPR 100). The collections were carried out in four stages of coffee fruit development (floral bud maturation, pellet, fruit expansion, fruit graining). In general, leaf nutrient contents increased with soil water availability. However, the period of greatest availability varies according to the phenological stage of the fruits, but differences in contents are also observed when compared to the cultivars employed. The highest Fe levels were found in the maturation stage of the flower buds, this phase comprises in July a period with low water availability. The highest leaf contents of Zn occurred during the maturation phases of the floral and pellet buds. Leaf collection for leaf diagnosis should be performed for each nutrient as a function of fruit phenological stage.

Keywords: *Coffea arabica*. Leaf content. Phenological stage.

INTRODUÇÃO

A diagnose foliar permite a identificação de deficiências nutricionais em plantas, é uma técnica complementar à análise de solo. Com a análise de folhas é possível verificar se o teor de um determinado nutriente está na faixa considerada adequada para aquela cultura. A coleta de folhas deve ser realizada em períodos que o nutriente pode expressar o seu maior teor nas folhas, para o cafeeiro o período recomendado está entre os estádios fenológicos de florescimento e chumbinho (Martinez et al., 2003).

Compreender os estádios fenológicos de desenvolvimento dos frutos do cafeeiro auxilia no planejamento agrícola, mais especificamente na definição de tratos culturais como o fornecimento de adubos (Bardin-Camparotto et al., 2012). Contudo, é importante observar que a maturação dos frutos não é igual entre as cultivares, pois existem diferenças genéticas, como também, pode ocorrer alterações no ciclo de maturação dos frutos decorrente de condições climáticas (Petek et al., 2009).

O teor de nutrientes nas folhas pode variar de acordo com características da variedade, como capacidade de absorção de nutrientes e morfologia do sistema radicular (Furlani 2002). Algumas variedades de café apresentam grande variabilidade na absorção de Zn, como por exemplo, as variedades Catuaí Vermelho IAC 144, Icatu e Mundo Novo, sendo a variedade Catuaí Vermelho IAC 144 a mais eficiente na absorção de Zn devido à quantidade de matéria seca de raiz produzida (Reis Júnior & Martinez 2002). Além disso, os teores de nutrientes acumulados podem variar com o local, época do ano, idade da planta e ainda variar nos órgãos de uma mesma planta (Bragança et al. 2008). Plantas de café que apresentam ciclo mais curto são as que acumulam matéria seca e nutrientes como, N, P, K, Ca, Mg e S, mais rapidamente (Partelli et al., 2014).

As variações apresentadas quanto à absorção de nutrientes pelo cafeeiro pode alterar os teores de macro e micronutrientes nas folhas, pois características genéticas da variedade, épocas do ano e regiões de cultivo podem alterar o teor foliar de nutrientes. Portanto, a definição das adubações devem seguir parâmetros quanto aos estádios fenológicos do cafeeiro. Nesse contexto, é importante definir o momento ideal para realizar a coleta de folhas de café para definir formas de adubação, pois foi evidenciado que algumas variedades apresentam extração de nutrientes distintas refletindo no teor foliar (Amaral et al. 2011).

Diante do exposto o presente trabalho propôs avaliar através de um estudo exploratório, qual estágio fenológico do fruto é o mais adequado para a coleta de folhas

para definição da recomendação de adubação de macro e micronutrientes. Para tanto, foram empregadas 6 variedades de café com características agrônômicas contrastantes, sendo elas, Acauã Novo, Bourbon Amarelo, Catuaí Vermelho IAC 144, Catuaí 20/15, IAC 125 RN e IPR 100.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em lavoura comercial da Santinato Cafés localizada no município de Rio Paranaíba - MG (19°14'13.1"S 46°16'59.4"W) em lavouras implantadas em dezembro de 2016 no espaçamento de 3,70 x 0,63 m, com sistema de irrigação via gotejo. A área está localizada a 930 m de altitude, o clima da região é classificado como Cwa, temperado úmido com inverno seco e verão quente, o período chuvoso é concentrado nos meses de outubro a março (Alvares et al. 2013).

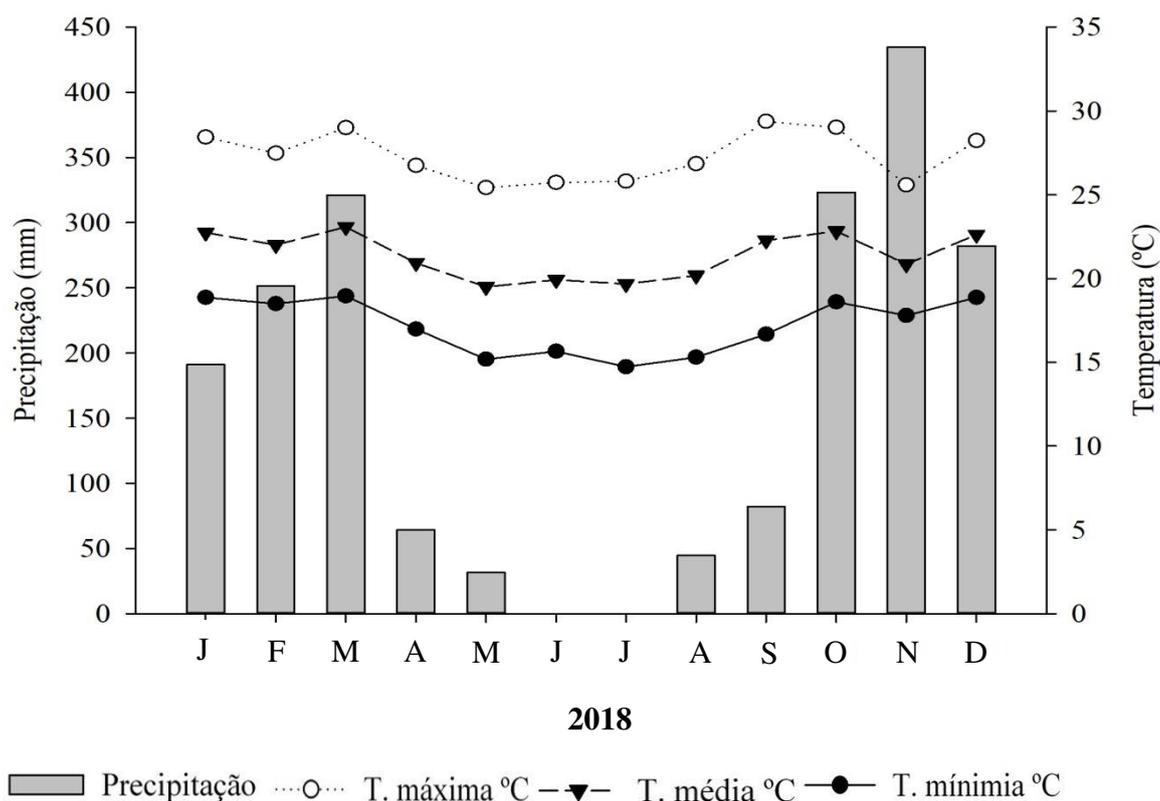


Figura 1. Temperaturas máxima, média e mínima e precipitações mensais, referente ao ano de 2018 em Rio Paranaíba – Minas Gerais.

As lavouras foram adubadas com nitrogênio e potássio nas doses de 350 kg ha⁻¹ de N e 300 kg ha⁻¹ de K₂O, a dose de nitrogênio foi dividida em quatro aplicações,

sendo a primeira em novembro e as demais em dezembro, fevereiro e março, as adubações com K foram realizadas em dezembro, fevereiro e março. Para caracterização química do solo foram coletadas amostras de solos nas camadas de 0-20 cm. e 20-40 cm. nos talhões onde realizaram as coletas de folhas (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química do solo coletado na projeção da copa de cada variedade antes da instalação do experimento.

Cultivar	Profundidade	pH	P ¹	K ¹	S	B	Fe ¹	Mn ¹	Cu ¹	Zn ¹	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P ²
		(H ₂ O)	mg dm ⁻³									cmol _c dm ⁻³	mg L ⁻¹
Acauã novo	0-20	5,4	26,9	76	31	0,4	62	31,2	2,2	2,2	2,9	0,6	20,1
Acauã novo	20-40	5,4	7,4	55	49	0,4	61	22,2	2,0	1,9	2,6	0,7	20,8
Bourbon amarelo	0-20	5,3	12,1	187	38	0,4	57	26,5	2,4	1,7	2,7	0,5	18,6
Bourbon amarelo	20-40	5,1	5,3	85	55	0,4	61	20,0	2,2	1,1	2,0	0,5	19,7
Catuai v. IAC 144	0-20	5,4	57,2	130	25	0,3	61	36,9	2,5	3,4	3,4	0,6	20,2
Catuai v. IAC 144	20-40	5,3	16,9	8	40	0,4	69	29,4	2,6	2,9	2,5	0,6	19,9
Catucaí 20/15	0-20	4,9	12,2	87	47	0,4	68	23,8	2,2	1,5	1,9	0,5	19,4
Catucaí 20/15	20-40	4,9	10,4	64	50	0,4	67	18,4	2,0	1,5	1,9	0,5	23,8
IAC 125 RN	0-20	5,3	23,8	224	22	0,4	88	30,1	2,2	2,0	3,2	0,8	21,6
IAC 125 RN	20-40	5,0	7,7	140	40	0,3	77	19,0	2,2	1,3	2,2	0,6	22,1
IPR 100	0-20	5,6	14,7	112	36	0,3	69	32,7	2,6	3,3	3,2	0,9	20,1
IPR 100	20-40	5,6	7,7	68	49	0,3	59	21,3	2,0	2,0	2,9	0,9	20,7

¹ Extrator: Mehlich-1; ² Fósforo remanescente.

Para estudar as características relacionadas à eficiência nutricional, foi realizado um estudo comparativo de 6 variedades de café: Acauã Novo, Bourbon Amarelo, Catuai Vermelho IAC 144, Catucaí 20/15, IAC 125 RN e IPR 100. Entre julho de 2018 e março de 2019 foram coletadas folhas (terceiro par em ramo plagiotrópico localizado no terço médio da planta) em quatro fases fenológicas do cafeeiro: maturação das gemas florais, chumbinho, expansão rápida dos frutos e granação dos frutos.

Em cada variedade foram tomados quatro locais de amostragem e coletadas 30 folhas por local. A folha coletada foi do terceiro par do ápice para a base no ramo plagiotrópico localizado no terço médio da planta (Malavolta et al. 2006). Após a coleta foi realizada limpeza das folhas para remover impurezas, em seguida, as mesmas foram

colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 70 °C por um período de 72 horas. Posteriormente, as amostras foliares foram trituradas em moinho tipo Wiley equipado com peneira de 1 mm. Foram determinados os teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn). As amostras foram digeridas com H₂SO₄ + H₂O, posteriormente, as amostras de N foram analisadas por titulometria e os demais nutrientes por espectrofotometria, conforme método descrito em Miyazawa (2009).

A variedade Acauã Novo apresenta porte baixo, resistência à ferrugem e tolerante ao *Meloidogyne exigua* e ao déficit hídrico. É indicada para regiões mais quentes e secas. A variedade Catucaí 20/15 apresenta porte médio/baixo e resistência à ferrugem. Catucaí Vermelho IAC 144 é de porte baixo, menos prejudicado pela ferrugem, ácaro e seca e tem menor tolerância à deficiência de boro. IAC 125 RN apresenta alta resistência à ferrugem e a *Meloidogyne exigua*. Bourbon Amarelo é de porte alto, precoce na maturação dos frutos, mais susceptível ao ataque de cercosporiose e ferrugem após a colheita (Matiello et al. 2015). Foi realizada a colheita de frutos e as variedades apresentaram as seguintes produtividades: Acauã Novo – 61,7 sacas ha⁻¹; Bourbon Amarelo - 33,3 sacas ha⁻¹; Catucaí Vermelho IAC 144 – 45,0 sacas ha⁻¹; Catucaí 20/15 – 48,3 sacas ha⁻¹; IAC 125 RN – 43,3 sacas ha⁻¹; IPR 100 – 49,2 sacas ha⁻¹.

Os dados foram comparados através de estatística descritiva, com apresentação da média e erro padrão das observações para cada época de amostragem e cultivar.

RESULTADOS

As variedades Acauã Novo, Bourbon Amarelo, Catucaí Vermelho IAC 144, Catucaí 20/15 apresentaram aumento no teor de N na fase de chumbinho e se manteve igual durante os períodos de expansão rápida dos frutos e granação dos frutos. A variedade IAC 125 RN apresentou aumento gradativo de N durante as quatro fases em análise. Na variedade IPR 100 ocorreu um aumento no teor de N da fase de maturação das gemas florais para a fase de chumbinho em seguida houve uma redução, na fase de granação dos frutos o teor de N aumentou novamente (Figura 2).

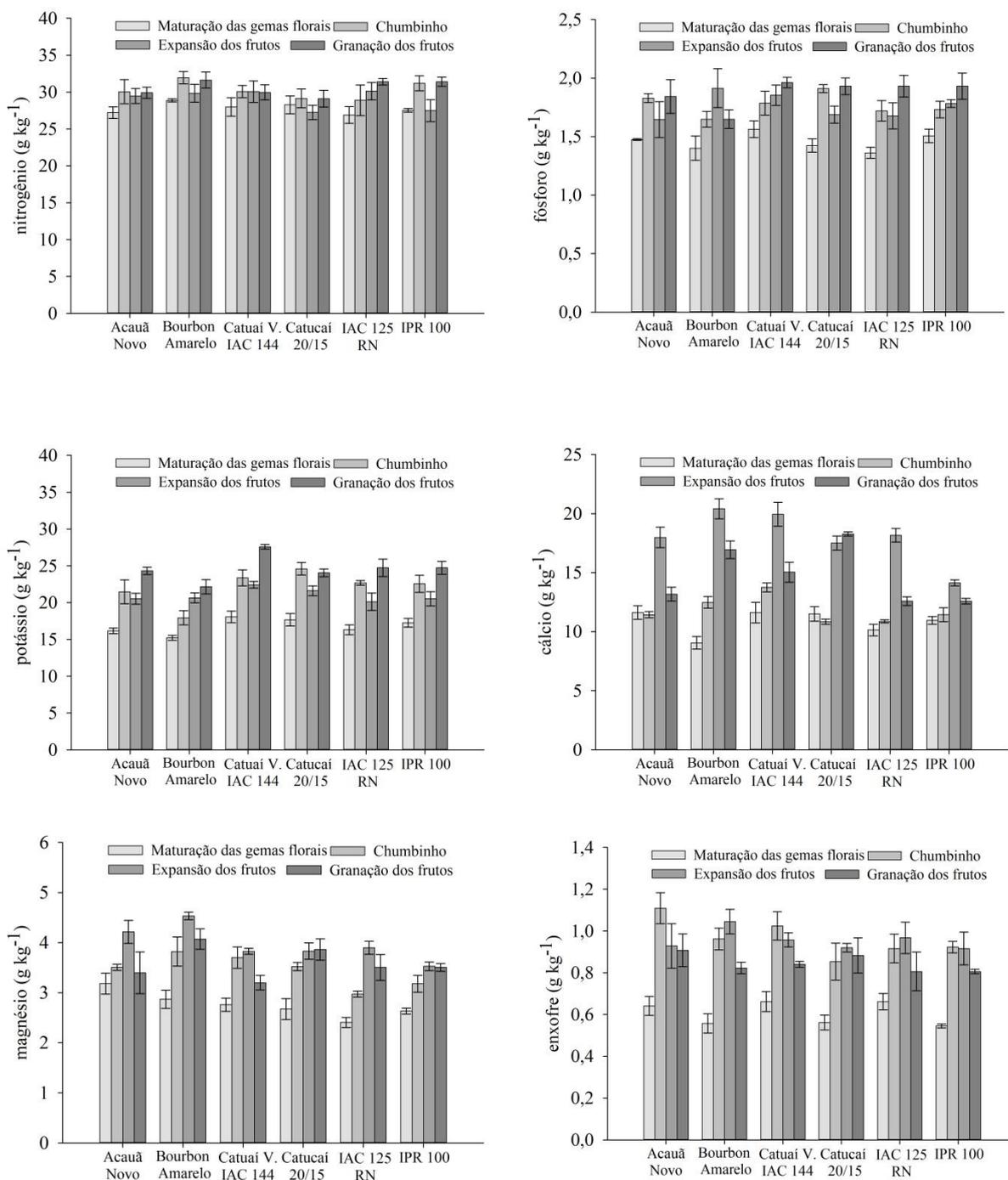


Figura 2. Teores foliares de macronutrientes em variedades de café em função da época de coleta das folhas para análise.

As variedades Acauã Novo, Catuai Vermelho IAC 144 apresentaram o maior teor de P nas fases de chumbinho, expansão dos frutos e granação dos frutos, as variedades IAC 125 RN e IPR 100 apresentaram o maior de P na fase granação dos frutos, a variedade Catucaí 20/15 apresentou maior teor foliar de P nas fases de

chumbinho e de granação dos frutos. A variedade Bourbon Amarelo apresentou o maior teor foliar de P na fase de expansão dos frutos.

O maior teor de potássio (K) nas variedades Acauã Novo, Catuaí Vermelho IAC 144 e IPR 100 ocorreram na fase de granação dos frutos. A variedade IAC 125 RN apresentou resultado semelhante às variedades acima, no entanto, houve redução no teor foliar de K na fase de expansão dos frutos. A variedade Catucaí 20/15 apresentou redução no teor foliar de K durante a fase de expansão dos frutos. A variedade Bourbon Amarelo apresentou resultado diferente das demais variedades com aumento do teor de K de forma gradativa até as fases de expansão e de granação dos frutos. Ainda, para essa variedade o teor de K na fase de granação dos frutos da variedade Bourbon Amarelo é o menor em relação às demais variedades.

Para as variedades Acauã Novo, Bourbon Amarelo, Catuaí Vermelho IAC 144, IAC 125 RN e IPR 100 o maior teor foliar de Ca ocorre na fase de expansão dos frutos, a variedade Catucaí 20/15 o período de maior teor foliar de Ca ocorre durante as fases de expansão dos frutos e granação dos frutos.

As variedades Acauã Novo, Bourbon Amarelo e IAC 125 RN apresentaram maiores teores foliares de Mg na fase de expansão dos frutos e redução na fase de granação dos frutos. O Catucaí 20/15 e o IPR 100 o maior teor foliar de Mg ocorre concomitantemente nas fases de expansão dos frutos e granação dos frutos. O Catuaí Vermelho IAC 144 o maior teor de Mg ocorre de forma concomitante às fases de chumbinho e expansão dos frutos.

Os maiores teores foliares de enxofre (S) nas variedades Bourbon Amarelo, Catuaí Vermelho IAC 144 e IPR 100 se concentraram nas fases de chumbinho e expansão dos frutos. O Catucaí 20/15 e o IAC 125 RN os maiores teores ocorreram nas fases de chumbinho, expansão dos frutos e granação dos frutos. O Acauã Novo apresentou maior teor foliar de S apenas na fase de chumbinho e logo em seguida nas fases de expansão dos frutos e granação dos frutos.

Os períodos com maior teor foliar de Cu alterna entre as fases de chumbinho e granação dos frutos. Houve redução acentuada no teor foliar de cobre na fase de expansão dos frutos, exceto para a variedade Acauã Novo (Figura 3).

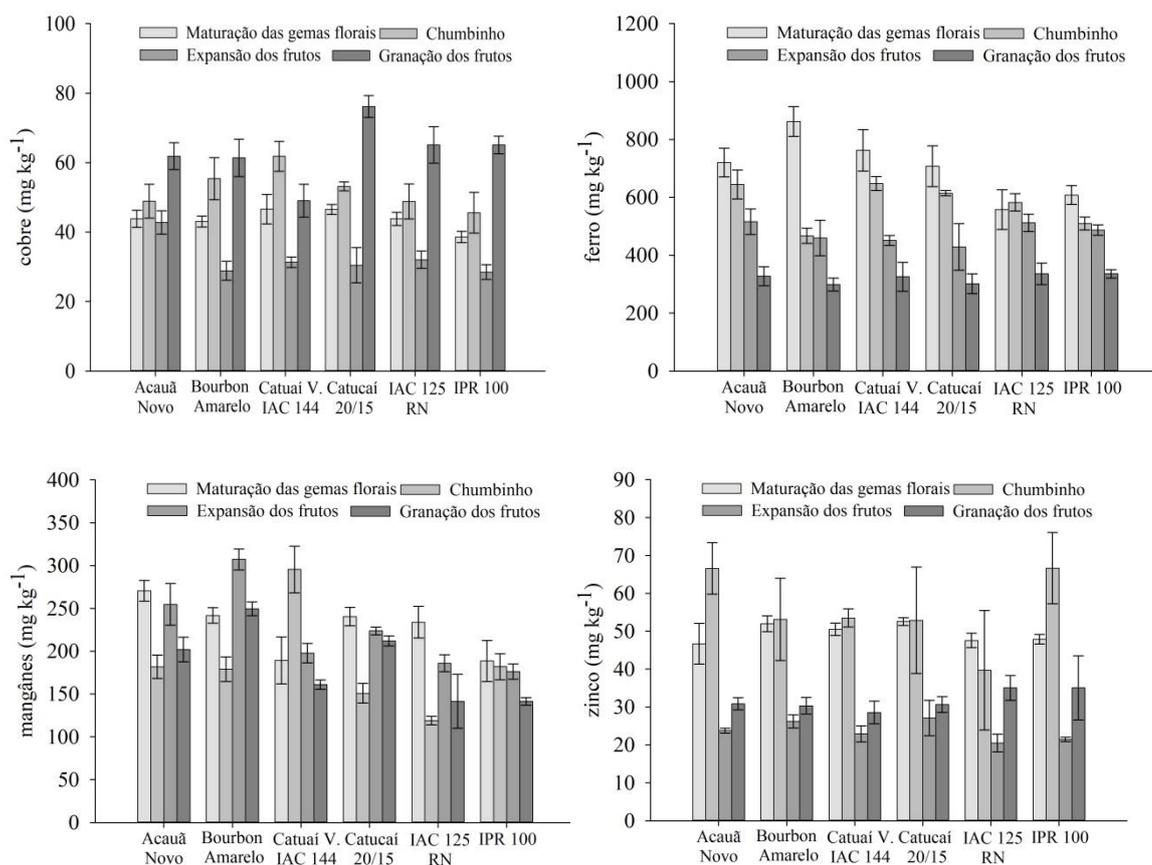


Figura 3. Teores foliares de micronutrientes em variedades de café em função da época de coleta das folhas para análise.

Os maiores teores foliares de Fe ocorrem na fase de maturação das gemas florais. As variedades Acauã Novo e IAC 125 RN os teores foliares de Fe na fase de chumbinho é semelhante à fase de maturação das gemas florais.

A variedade Acauã Novo apresentou o maior teor de Mn na fase de maturação das gemas florais e expansão dos frutos. O maior teor de Mn na variedade Bourbon Amarelo foi na fase de expansão dos frutos, enquanto que a variedade Catuaí Vermelho IAC 144 apresentou maior teor de Mn na fase de chumbinho. As variedades Catuaí 20/15 e IAC 125 RN apresentaram maiores teores de Mn na fase de maturação das gemas florais. A variedade IPR 100 apresentou o maior teor de Mn durante as fases de maturação das gemas florais, chumbinho e expansão dos frutos.

As variedades empregadas no experimento apresentaram alta variabilidade nos teores foliares de Zn na fase de chumbinho. As variedades Acauã Novo e IPR 100 apresentaram maiores teores foliares de Zn durante o período de desenvolvimento dos frutos na fase de chumbinho. Nas demais variedades os maiores teores foliares de Zn

ocorreram nas fases de chumbinho e expansão dos frutos. O período de menor teor foliar de Zn aconteceu na fase de expansão dos frutos.

DISCUSSÃO

O teor de N aumenta na fase de chumbinho, que coincide com o aumento da precipitação (Figura 1). No entanto, é observada nas variedades Bourbon Amarelo e IPR 100 redução no teor foliar de N na fase de enchimento de grãos. Essa redução pode estar relacionada à retranslocação de N das folhas para a expansão dos frutos. Esses resultados corroboram com os encontrados por Partelli Vieira e Martins (2007) que avaliaram a disponibilidade de nutrientes nas folhas em duas épocas de coleta e constataram que os teores de N foram menores durante o estágio de maturação das gemas florais.

O teor de P foliar aumenta à medida que a disponibilidade de água no solo também aumenta, o aumento no teor de P ocorre na fase de chumbinho onde ocorre um aumento expressivo nas precipitações (Figura 1). Nas variedades Acauã Novo e Catucaí 20/15 houve redução no teor foliar no estágio fenológico de expansão dos frutos o que pode ser relacionado com a retranslocação de P para os frutos. As variedades Catucaí Vermelho IAC 144 e IPR 100 apresentaram os maiores teores de P na fase de maturação das gemas florais, apesar da baixa disponibilidade de água no solo. O sistema radicular bem desenvolvido da variedade Catucaí Vermelho IAC 144, e a tolerância ao calor e à seca e adaptação para solos pobres da variedade IPR 100 (Ronchi et al., 2015; Matiello et al., 2015) contribuem para uma maior exploração e aproveitamento do solo o que é estratégia eficaz para aumentar a absorção dos nutrientes transportados por fluxo difusivo como o P (Pagés 2011).

O menor teor de K ocorreu na fase de maturação das gemas florais o que está relacionado com seu baixo teor no solo, como também, à baixa disponibilidade de água no solo. As variedades Acauã Novo, Catucaí Vermelho IAC 144, IAC 125 RN e IPR 100 apresentaram os maiores teores de K na fase de granação dos frutos, já a variedade Bourbon Amarelo o maior teor de K ocorreu na fase de expansão dos frutos e granação dos frutos, a variedade Catucaí 20/15 os maiores teores ocorreram nos estágios fenológicos de chumbinho e granação dos frutos. Partelli et al. (2007) verificaram que os maiores teores de K no café arábica ocorreram de novembro a dezembro. Portanto, pode-se concluir que existem diferenças entre períodos de maiores teores de K, o que

pode estar relacionado com a região de cultivo, como também, a variedade de café. A variedade Bourbon Amarelo apresentou menor teor de potássio na fase de granação dos frutos. Essa redução pode estar relacionada com a diluição de potássio na planta, pois o Bourbon Amarelo é uma planta de porte alto.

A fase de expansão dos frutos apresentou o maior teor de Ca nas folhas. No entanto, a variedade Catuaí Vermelho IAC 144 apresentou maior teor de Ca na fase de granação dos frutos. Com o aumento da precipitação espera-se que aumente o teor de Ca nas folhas, esse período ocorre simultaneamente com o estágio fenológico de chumbinho. Entretanto, nesse período o teor de Ca nas folhas ainda é baixo, o que pode estar relacionado com a alta umidade relativa do ar que reduz a transpiração foliar, comprometendo a absorção de Ca. O Ca não é retranslocado via floema, o que faz com que os tecidos em desenvolvimento dependam do suprimento de Ca via xilema que pode ser alterado pela transpiração, a transpiração pode ser influenciada pela alta umidade relativa do ar, além disso, folhas que estão sombreadas podem apresentar baixa transpiração, interferindo diretamente na absorção de Ca (White e Broadley 2003).

As variedades Acauã Novo, Bourbon Amarelo e IAC 125 RN apresentaram os maiores teores de Mg na fase de expansão dos frutos, as demais variedades os maiores teores ocorreram nas fases de expansão dos frutos e maturação dos frutos. Semelhante ao resultado de Ca o Mg apresenta baixo teor foliar na fase de chumbinho. O maior requerimento de Mg na fase de chumbinho está relacionado com a atividade de ATPase, visto que os frutos nesse estágio fenológico apresentam alta taxa respiratória (Marschner, 2012).

Os maiores teores foliares de S ocorreram durante as fases de chumbinho e enchimento dos frutos, posteriormente ocorreu uma redução nos teores foliares de S, o que pode estar relacionado com a retranslocação para o crescimento dos frutos. A fase de maior demanda por enxofre ocorre durante a transição de frutos verdes para maduros (Valarini et al. 2005).

Foi observada uma redução no teor foliar de Cu na fase de enchimento de grãos, como o Cu é pouco móvel via floema, essa redução é decorrente do aumento na matéria seca foliar o que gerou uma diluição do Cu nas folhas. Nas variedades Acauã Novo, Catucaí 20/15, IAC 125 RN e IPR 100 apresentaram os maiores teores de Cu na fase de granação dos frutos, já o Bourbon Amarelo apresentou maior teor nas fases de chumbinho e granação dos frutos, o Catuaí Vermelho IAC 144 o maior teor de Cu ocorreu na fase de chumbinho.

De forma geral, os períodos iniciais de avaliação apresentaram os maiores teores foliares de Fe e a média que os frutos de café se desenvolvem há uma redução no teor foliar desse micronutriente, o que pode estar relacionado com a retranslocação de Fe das folhas para o crescimento dos frutos.

Apenas as variedades Catucaí 20/15 e IAC 125 RN apresentaram maiores teores de Mn durante as fases de maturação das gemas florais. A variedade IPR 100 o maior teor de Mn se manteve durante as fases de maturação das gemas florais, chumbinho e expansão dos frutos e o menor teor na fase de granação, corroborando com os resultados de Laviola et al. (2007) que encontraram teor de 110 mg kg⁻¹. A variedade Catucaí Vermelho IAC 144 apresentou maior teor de Mn na fase de chumbinho, em estudo semelhante realizado na Costa Rica com a variedade Caturra foi verificado que o maior teor foliar de Mn ocorre durante a fase de chumbinho (Ramírez et al. 2002).

As variedades Acauã Novo e IPR 100 apresentaram um aumento foliar de Zn na fase de chumbinho, período que coincide com o aumento na precipitação facilitando a absorção de Zn. O Zn atua em processos de divisão celular e estabilização de membranas de novas células formadas (Marenco & Lopes, 2005). Para as variedades Bourbon Amarelo, Catucaí Vermelho IAC 144, Catucaí 20/15 e IAC 125 RN os teores foliares de Zn se mantiveram semelhantes nas fases de maturação das gemas florais e chumbinho, mesmo ocorrendo uma flutuação no teor de Zn na fase de chumbinho essa variação não é suficiente para concluir que essa fase há uma maior absorção, essas variedades mostram uma capacidade de armazenamento de Zn em períodos com baixa precipitação e posterior retranslocação para órgãos como os frutos. A retranslocação de Zn pode ocorrer desde que, seus teores estejam elevados. O Zn em altas concentrações pode ser retranslocado de órgãos como ramos, raízes e folhas (Silber et al. 2018).

Algumas pesquisas já relataram que há diferenças quanto às exigências nutricionais de macronutrientes em plantas de café, essas diferenças podem ocorrer devido à época do ano, dias após a antese e o genótipo, além disso, pode haver diferença entre faixas de suficiência de uma região para outra (Partelli et al. 2014; Martinez et al. 2003).

A coleta de folhas para análise de tecido foliar é realizada entre o florescimento e os frutos no estágio de chumbinho, no entanto, não diferencia o momento de coleta de cada nutriente. No presente trabalho foi verificado que os teores foliares de macro e micronutrientes podem alterar de acordo com o estágio fenológico dos frutos e com a variedade de café, sugerindo que a coleta de folhas deve ser realizada em períodos

distintos com o intuito de obter uma realidade mais assertiva quanto à disponibilidade de macro e micronutrientes nas plantas.

CONCLUSÕES

Os teores de macro e micronutrientes são variáveis de acordo com o estágio fenológicos dos frutos de café, como também, das variedades.

A coleta de folhas para diagnose foliar deve ser realizada em períodos de maior teor do nutriente nas folhas e para isso, considerar a fenologia do fruto e a variedade de café.

AGRADECIMENTOS

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M. SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: < <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>>.
- AMARAL, J. F. T.; MARTINEZ, H. E. P.; LAVIOLA, B. G.; FERNANDES FILHO, E. I.; CRUZ, C. D. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Ciência Rural**, v.1, n. 4, p. 621-629, 2011.
- BARDIN-CAMPAROTTO, L.; CAMARGO, M. B. P.; MORAES, J. F. L. Época provável de maturação para diferentes cultivares de café arábica para o Estado de São Paulo. **Ciência Rural**. v. 42, n. 4, p. 594-9, 2012.
- BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. E. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ, V. V. H.; LANI, J. A. Accumulation of macronutrients for the conilon coffee tree. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, n. 1, p. 103-20, 2008. Disponível em: < <https://doi.org/10.1080/01904160701741990>>.
- FURLANI, A. M. C. Absorção de nutrientes pelas plantas. In: BATAGLIA, O. C.; MEDINA, C. L.; BOARETO, A. E. CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CAFÉ. **Resumos...** Campinas: Instituto Agrônômico, p. 1-13, 2002.
- LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ, V. V. H. Dinâmica de cálcio em folhas e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 319-329, 2007.
- MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**, 3 ed. Academic, London, 2012. p. 651.
- MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. p.451.
- MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ, V., V. H.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 6, p.703-713, 2003.
- MARQUES, L. F.; SOUTO, J. S.; CAVALCANTE, L. F.; MESQUITA, E. F.; NASCIMENTO, J. A. M. Composição mineral e redistribuição de nutrientes em gravioleira. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 23, n.1, p.1-5, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.12661/pap.2018.006>>.
- MATIELLO, J. B., SANTINATO, R., ALMEIDA, S. R., GARCIA, A.W. R. **Cultura de café no Brasil: Manual de recomendações**, Futurama, 2015. p. 585.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S.; MELO, W. J.; Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. **Manual de análises químicas**

de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. Brasília: DF. Embrapa Informação tecnológica, 2009, p. 191-233.

PARTELLI, F. L., ESPINDULA, M. C., MARRÉ, W. B., VIEIRA, H. D. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of conilon coffee with different ripening cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 38, n. 1, p. 214-22, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100021>.

PETEK, M. R.; SERA, T.; FONSECA, I. C. B. Exigências climáticas para o desenvolvimento e maturação dos frutos de cultivares de *Coffea arabica*. **Bragantia**, v. 68, n. 1, p. 169-81, 2009.

RAMÍREZ, F.; BERTSCH, F.; MORA, L. Consumo de nutrimentos por los frutos y bandolas de café Caturra durante un ciclo de desarrollo y maduración en Aquiares, Turrialba, Costa Rica. **Agronomía Costarricense**, v.26, p.33-42, 2002.

RONCHI, C. P.; SOUSA JÚNIOR, J. M.; AMEIDA, W. L.; SOUZA, D. S.; SILVA, N. O.; OLIVEIRA, L. B.; GUERRA, A. M. N. M.; FERREIRA, P. A. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 3, p. 187–195, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000300001.

REIS JÚNIOR, R. A.; MARTINEZ, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 3, p. 537-542, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000300019>>.

SILBER, A.; NAOR, A.; COHEN, H.; BAR-NOY, Y.; YECHIELI, N.; LEVI, M.; NOY, M.; PERES, M.; DUARI, D.; NARKIS, K.; ASSOULINE, S. Avocado fertilization: Matching the periodic demand for nutrients. **Scientia Horticulturae**, v. 241, p. 231-240, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.094>>.

VALARINI, V.; BATAGLIA, O. C.; FAZUOLI, L. C. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, v. 64, n. 4, p. 661-672, 2005.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants, **Annals of Botany**, v. 92, n. 4, p. 487-511, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/aob/mcg164>>.

CONCLUSÕES GERAIS

A retranslocação de nutrientes é diferente entre as variedades Catuaí Vermelho IAC 144 e IAC 125 RN. Nutrientes como o B e Zn, comumente pouco móveis em outras espécies, podem ser retranslocados via floema no cafeeiro.

A coleta de folhas para diagnose foliar deve ser realizada com base na fenologia reprodutiva do cafeeiro, pois os teores de macro e micronutrientes são variáveis entre as fases de desenvolvimento da cultura.