MACRONUTRIENTES EM MUDAS DE CAFEEIRO CONILON

João Paulo de Morais Oliveira, Sônia Maria da Silva, Elias Terra Werner, Marcelo Antônio Tomaz, Milene Miranda Praça Fontes.

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário, S/N, Guararema, 29500-000 - Alegre - ES, Brasil, joaopaulo.ueg@gmail.com, soniamsquimica@gmail.com, elias.werner@ufes.br, tomazamarcelo@yahoo.com.br, milenemiranda@yahoo.com.br.

Resumo

Em mudas de cafeeiro, a posição do par de folhas amostrado pode alterar os teores foliares de macronutrientes, o que compromete a comparabilidade dos resultados quando a amostragem não é padronizada. Neste trabalho, os teores foliares de nitrogênio (N), cálcio (Ca), fósforo (P), potássio (K) e magnésio (Mg) foram avaliados em mudas de cafeeiro Conilon (*Coffea canephora*), comparando-se o primeiro, o segundo e o terceiro pares de folhas do ramo ortotrópico, em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Ca, P e K diferiram significativamente entre as posições foliares (teste de Tukey, $p \leq 0,05$): o Ca decresceu da folha mais velha para a mais nova, o P apresentou tendência oposta, e o K, embora significativo pela análise de variância, não apresentou diferenças confirmadas entre pares individuais. N e Mg mantiveram-se estatisticamente semelhantes entre as posições. A correlação de Pearson revelou associação positiva forte entre P e K, associação positiva moderada entre Ca e Mg e associação negativa moderada entre Ca e P. Conclui-se que a posição foliar deve ser padronizada na amostragem de mudas de cafeeiro Conilon, sobretudo para o diagnóstico de Ca, P e K.

Palavras-chave: *Coffea canephora*. Diagnose foliar. Nutrição mineral. Produção de mudas. Viveiro.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias / Agronomia.

Introdução

O cafeeiro Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) ocupa posição de destaque na cafeicultura brasileira, sendo cultivado principalmente em regiões de menor altitude e maior temperatura, onde apresenta melhor adaptação do que o café arábica (Partelli & Zucoloto, 2024). A fase de formação de mudas é decisiva para o estabelecimento e o desempenho produtivo futuro da lavoura, e o monitoramento nutricional nesse período, por meio da análise foliar, permite identificar precocemente deficiências, excessos e desequilíbrios que podem comprometer o desenvolvimento das plantas antes do plantio definitivo (Prado & Rozane, 2020; Pereira et al., 2017).

Cada macronutriente apresenta um comportamento próprio de mobilidade no floema, o que determina, em boa parte, como ele se distribui entre folhas de diferentes idades (White & Brown, 2010). Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e magnésio (Mg) deslocam-se com relativa facilidade para os tecidos em crescimento, ao passo que o Ca, por depender quase exclusivamente do fluxo xilemático para seu transporte, tende a permanecer retido nos tecidos onde foi originalmente incorporado (Kerton et al., 2009; De Bang et al., 2021). Em cafeeiros, esse comportamento restrito do Ca assume importância adicional por sua relação com a tolerância a estresses e com a produtividade da cultura (Ramírez-Builes et al., 2020).

Diferentemente de plantas em produção, mudas de cafeeiro ainda não competem por fotoassimilados e nutrientes com estruturas reprodutivas — os frutos em enchimento, que costumam ser o principal dreno da planta adulta (De Bang et al., 2021). Nessa fase de viveiro, portanto, o padrão de movimentação dos elementos móveis entre folhas pode não reproduzir o que se observa em cafeeiros já em produção. Mesmo assim, é justamente durante a formação das mudas que a análise foliar mais orienta decisões de adubação, o que torna a padronização da posição de coleta — qual par de folhas será amostrado — um cuidado indispensável para não comprometer o diagnóstico nutricional.

Em *C. canephora*, já se sabe que a concentração foliar de macronutrientes pode oscilar bastante conforme o órgão e o genótipo analisados (Schmidt et al., 2022); falta, porém, esclarecer o quanto a posição do par de folhas responde por essa variação em mudas da cultivar Conilon. Este trabalho teve como objetivo caracterizar os teores foliares de N, Ca, P, K e Mg em mudas de cafeeiro Conilon,

comparando três pares de folhas ao longo do ramo ortotrópico, de modo a subsidiar a definição de um protocolo de amostragem foliar mais preciso para a espécie nessa fase de desenvolvimento.

Metodologia

O experimento utilizou mudas de cafeeiro Conilon, clone A_1 (*C. canephora*), das quais foram coletadas folhas em três posições ao longo do ramo ortotrópico: primeiro par (folha basal, mais velha), segundo par (posição intermediária) e terceiro par (folha apical, mais nova). Para cada posição foliar, três mudas individuais foram avaliadas como repetições independentes, totalizando nove unidades amostrais; em cada planta, o par de folhas correspondente à posição avaliada foi tratado como subamostra.

Depois de colhidas, as folhas foram identificadas, acondicionadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar, mantida a 60 ± 2 °C, até atingirem peso constante; em seguida, o material foi triturado em moinho Wiley dotado de peneira de aço inoxidável com malha de 0,42 mm. A quantificação do nitrogênio, na forma de N-NH4+, baseou-se no método colorimétrico do reagente de Nessler, com curva de calibração construída entre 0 e 8,0 mg L^{-1} e leitura de absorbância a 480 nm em espectrofotômetro, sendo os valores corrigidos para a base seca do material. Para a determinação de P, K, Ca e Mg, procedeu-se à digestão nítrico-perclórica, na proporção 3:1, conforme protocolo adaptado de Malavolta et al. (1997), no qual cerca de 0,5 g de tecido foliar foi submetido a aquecimento em bloco digestor — inicialmente a 120 °C por aproximadamente 30 minutos e, na sequência, entre 180 e 200 °C até a completa clarificação do extrato —, sendo o volume final completado a 50 mL. Nesse extrato, K, Ca e Mg foram lidas por espectrometria de absorção atômica, enquanto o P foi quantificado colorimetricamente em espectrofotômetro a 725 nm, empregando-se curvas de calibração individuais para cada elemento. A classificação dos teores foliares obtidos apoiou-se nas faixas de suficiência nutricional descritas por Reuter & Robinson (1988), Mills & Jones Junior (1996), Malavolta et al. (1997) e Raij et al. (1996).

Adotou-se delineamento inteiramente casualizado, com a posição do par de folhas como único fator, em três níveis e três repetições. Antes da análise de variância, os resíduos do modelo foram testados quanto à normalidade (Shapiro-Wilk) e à homogeneidade de variâncias (Levene, centrado na mediana, com confirmação pelo teste de Bartlett); a independência das observações foi garantida pela casualização das unidades experimentais. Diferenças identificadas pela ANOVA ($p \leq 0,05$) foram desdobradas pelo teste de Tukey ao mesmo nível de probabilidade, e o coeficiente de variação experimental foi calculado para cada variável. Para investigar o relacionamento entre os nutrientes, aplicou-se ainda a correlação de Pearson entre os teores foliares avaliados. Todo o processamento foi conduzido na linguagem Python, com recursos das bibliotecas SciPy, Statsmodels, Pandas e Matplotlib, seguindo as orientações metodológicas de Banzatto & Kronka (2006) e Montgomery (2019).

Resultados

Entre os cinco macronutrientes avaliados, a posição do par de folhas afetou significativamente os teores de Ca ($F = 21,929$; $p = 0,0017$), P ($F = 8,772$; $p = 0,0166$) e K ($F = 5,981$; $p = 0,0373$), conforme a Tabela 1. Os testes de normalidade e de homogeneidade de variâncias não indicaram violação de nenhum dos pressupostos da ANOVA ($p > 0,05$), dispensando qualquer transformação prévia dos dados.

Já o N ($F = 0,093$; $p = 0,9127$) e o Mg ($F = 1,122$; $p = 0,3854$) não foram influenciados pela posição foliar, mantendo teores estatisticamente equivalentes entre os três pares avaliados.

Tabela 1 - Quadro da análise de variância dos teores foliares de N, Ca, P, K e Mg segundo a posição do par de folhas em mudas de cafeeiro Conilon. GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; F = valor do teste F. Significância: ns = não significativo ($p > 0,05$); * = significativo ($p < 0,05$).

Variável	Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	p-valor
N	Pares de folhas	2	8,0401	4,0200	0,093	0,9127 ns
	Resíduo	6	260,2015	43,3669		
	Total	8	268,2416			
Ca	Pares de folhas	2	26,6363	13,3181	21,929	0,0017 *
	Resíduo	6	3,6439	0,6073		
	Total	8	30,2802			

Variável	Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	p-valor
P	Pares de folhas	2	1,3550	0,6775	8,772	0,0166 *
	Resíduo	6	0,4634	0,0772		
	Total	8	1,8184			
K	Pares de folhas	2	57,3878	28,6939	5,981	0,0373 *
	Resíduo	6	28,7869	4,7978		
	Total	8	86,1747			
Mg	Pares de folhas	2	0,7778	0,3889	1,122	0,3854 ns
	Resíduo	6	2,0790	0,3465		
	Total	8	2,8568			

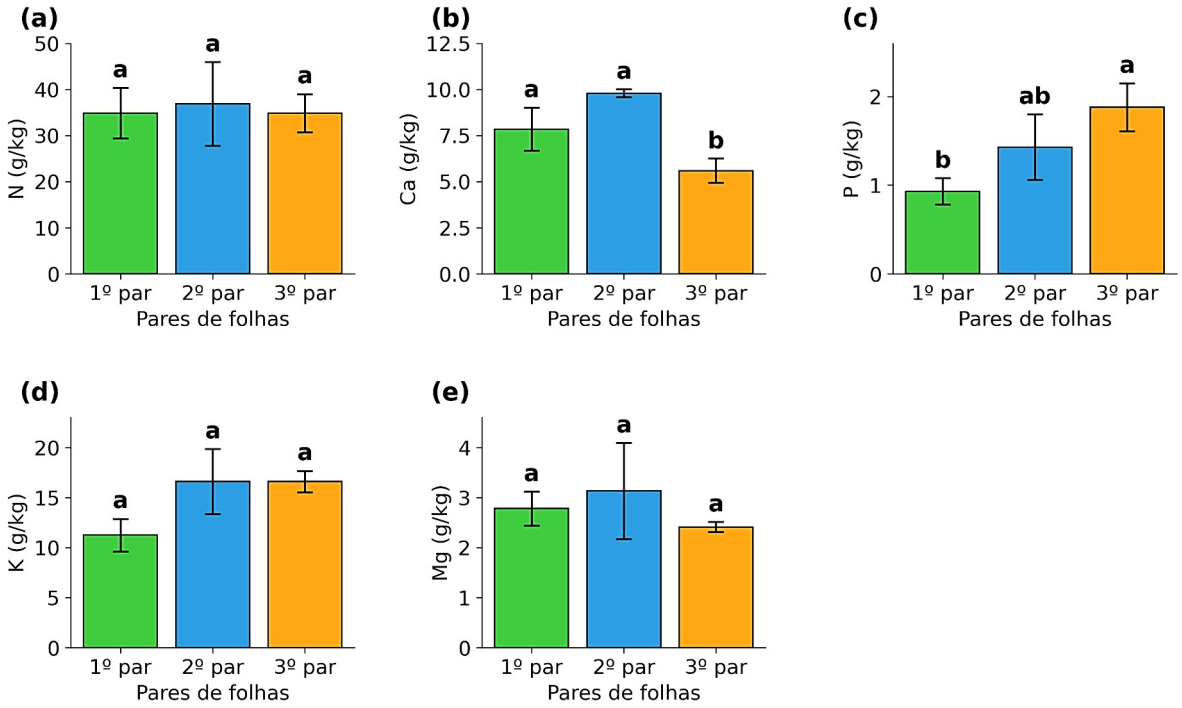
Fonte: os autores

O N variou entre 34,89 e 36,90 g kg^{-1} e o Mg entre 2,41 e 3,13 g kg^{-1} ao longo dos três pares de folhas, sem diferenças estatísticas pelo teste de Tukey (Figura 1a, e), o que está de acordo com o resultado não significativo obtido na ANOVA.

Situação distinta foi observada para o Ca (Figura 1b): o terceiro par apresentou o menor teor (5,59 g kg^{-1}), significativamente inferior tanto ao primeiro (7,85 g kg^{-1}) quanto ao segundo par (9,80 g kg^{-1}), que não diferiram entre si. O comportamento do P foi inverso (Figura 1c): os teores cresceram do primeiro (0,93 g kg^{-1}) para o terceiro par (1,88 g kg^{-1}), com diferença estatística restrita a esses dois extremos — o segundo par, com valor intermediário (1,43 g kg^{-1}), não diferiu de nenhum deles.

O K, apesar de ter sido apontado como significativo pela análise de variância (Figura 1d), não apresentou nenhuma diferença confirmada entre pares específicos pelo teste de Tukey — a comparação mais próxima da significância (primeiro versus segundo par) resultou em p = 0,0546. Essa divergência entre os dois testes é discutida na seção seguinte.

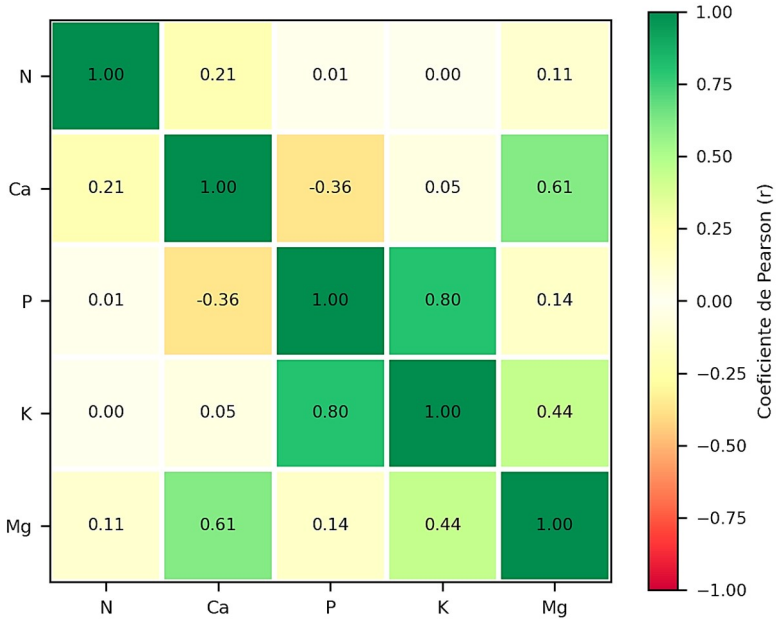
Figura 1 - Médias (± desvio-padrão) dos teores foliares de N (a), Ca (b), P (c), K (d) e Mg (e) segundo a posição do par de folhas em mudas de cafeeiro Conilon. Letras iguais indicam ausência de diferença estatística pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).



Fonte: os autores.

A matriz de correlação de Pearson entre os cinco nutrientes (Figura 2) evidenciou associação positiva forte entre P e K (r = 0,80) e associação positiva moderada entre Ca e Mg (r = 0,61); por outro lado, Ca e P apresentaram associação negativa moderada (r = -0,36). O N não se correlacionou de forma expressiva com nenhum dos demais elementos (|r| < 0,25).

Figura 2 - Matriz de correlação de Pearson entre os teores foliares de N, Ca, P, K e Mg em mudas de cafeeiro Conilon, segundo a posição do par de folhas.



Fonte: os autores.

Discussão

O comportamento do Ca — concentrações decrescentes em direção à folha mais jovem — reflete diretamente sua baixa mobilidade no floema: como o transporte desse elemento ocorre majoritariamente pelo xilema, acompanhando o fluxo transpiratório, uma vez incorporado ao tecido foliar ele dificilmente é redistribuído para órgãos mais novos (Karley & White, 2009; Ramírez-Builes et al., 2020). A correlação negativa entre Ca e P é consistente com esse padrão: enquanto o Ca se acumula nas folhas mais velhas, o P segue direção oposta.

O P, ao contrário, concentrou-se progressivamente nas folhas mais novas, comportamento típico de nutrientes com alta mobilidade floemática, translocados preferencialmente para os pontos de maior atividade metabólica e crescimento (De Bang et al., 2021; White & Brown, 2010). A forte correlação positiva entre P e K (r = 0,80) sugere que ambos respondem a demandas fisiológicas semelhantes nas folhas em expansão.

A discrepância entre o resultado significativo do teste F e a ausência de diferenças no teste de Tukey para o K não deve ser interpretada como inconsistência dos dados, mas como uma limitação estatística conhecida: o teste de Tukey, por aplicar correção para comparações múltiplas, é mais conservador e perde poder quando o número de repetições é reduzido, como neste experimento (n = 3) (Montgomery, 2019). A diferença numérica entre o primeiro par e os demais (11,24 frente a cerca de 16,6 g kg^{-1}) aponta para uma tendência biológica real, ainda carente de confirmação em ensaios com maior número de repetições.

Um fator que ajuda a explicar a estabilidade de N e Mg entre os pares de folhas é a própria fase de desenvolvimento das plantas: sem frutos em formação — que em cafeeiros adultos concentram boa parte da demanda por nutrientes móveis —, as folhas de diferentes idades das mudas não competem entre si com a mesma intensidade observada em plantas produtivas, o que tende a manter a distribuição desses elementos mais uniforme ao longo do ramo. Além do estádio fenológico, a carga genética da planta também interfere nos teores foliares: a composição nutricional de *C. canephora* é influenciada por fatores genéticos, com variação relatada entre genótipos e órgãos avaliados (Schmidt et al., 2022) — evidência de que a posição do par de folhas é apenas um entre vários fatores que respondem pela variabilidade nutricional da espécie.

Tomados em conjunto, os resultados indicam que, em mudas de cafeeiro Conilon, a posição do par de folhas amostrado interfere de modo consistente nos teores de Ca, P e K, mas não nos de N e Mg. Esse achado reforça que os protocolos de amostragem foliar destinados ao diagnóstico nutricional de

mudas dessa cultivar precisam especificar com clareza qual par de folhas deve ser coletado, sobretudo quando o interesse recair sobre Ca, P ou K.

Conclusão

Em mudas de cafeeiro Conilon, a posição do par de folhas amostrado influenciou de forma significativa os teores foliares de Ca, P e K, ao passo que N e Mg se mantiveram estatisticamente equivalentes entre as posições avaliadas. O Ca concentrou-se nas folhas mais velhas e o P nas mais novas, configurando padrões opostos de distribuição; para o K, apesar do efeito detectado pela análise de variância, as comparações individuais pelo teste de Tukey não confirmaram diferenças entre pares específicos, provavelmente em razão do número reduzido de repetições. Diante desses resultados, recomenda-se que protocolos de amostragem foliar em mudas de cafeeiro Conilon padronizem rigorosamente a posição do par de folhas coletado, particularmente para a diagnose de Ca, P e K.

Referências

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006.

DE BANG, T. C.; HUSTED, S.; LAURSEN, K. H.; PERSSON, D. P.; SCHJOERRING, J. K. The molecular-physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. **New Phytologist**, v. 229, p. 2446-2469, 2021. DOI: 10.1111/nph.17074.

KARLEY, A. J.; WHITE, P. J. Moving cationic minerals to edible tissues: potassium, magnesium, calcium. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, p. 291-298, 2009. DOI: 10.1016/j.pbi.2009.04.013.

KERTON, M.; NEWBURY, H. J.; HAND, D. J.; PRITCHARD, J. Accumulation of calcium in the centre of leaves of coriander (**Coriandrum sativum** L.) is due to an uncoupling of water and ion transport. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, p. 227-235, 2009. DOI: 10.1093/jxb/ern279.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MILLS, H. A.; JONES JUNIOR, J. B. **Plant Analysis Handbook II: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide**. Athens: MicroMacro Publishing, 1996.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 10. ed. New York: John Wiley & Sons, 2019.

PARTELLI, F. L.; ZUCOLOTO, M. (Ed.). **Café Conilon: Inteligência Artificial e Manejo Sustentável**. São Mateus: [s. n.], 2024.

PEREIRA, A. R. et al. Nutrição mineral e diagnose foliar em cafeeiro: revisão. **Coffee Science**, v. 12, n. 3, 2017.

PRADO, R. M.; ROZANE, D. E. Leaf analysis as diagnostic tool for balanced fertilization in tropical fruits. In: SRIVASTAVA, A. K.; HU, C. (Ed.). **Fruit Crops**. [S. l.]: Elsevier, 2020. p. 131-143. DOI: 10.1016/B978-0-12-818732-6.00011-3.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1996. (Boletim Técnico, 100).

RAMÍREZ-BUILES, V. H.; KÜSTERS, J.; SOUZA, T. R.; SIMMES, C. Calcium Nutrition in Coffee and Its Influence on Growth, Stress Tolerance, Cations Uptake, and Productivity. **Frontiers in Agronomy**, v. 2, p. 1-16, 2020. DOI: 10.3389/fagro.2020.590892.

REUTER, D. J.; ROBINSON, J. B. **Plant Analysis: An Interpretation Manual**. Melbourne: Inkata Press, 1988.

SCHMIDT, R.; DA SILVA, C. A.; DUBBERSTEIN, D.; DIAS, J. R. M.; VIEIRA, H. D.; PARTELLI, F. L. Genetic Diversity Based on Nutrient Concentrations in Different Organs of Robusta Coffee. **Agronomy**, v. 12, p. 1-18, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12030640.

WHITE, P. J.; BROWN, P. H. Plant nutrition for sustainable development and global health. **Annals of Botany**, v. 105, p. 1073-1080, 2010. DOI: 10.1093/aob/mcq085.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento da UFES/Alegre e ao Laboratório de Citogenética e Cultura de Tecidos Vegetais da UFES/Alegre pelo apoio financeiro, infraestrutura e recursos fornecidos para a realização deste estudo.