EFEITO DE DOSES DE BIOCARVÃO DE CASCA DE CAFÉ NO TEOR DE POTÁSSIO DO SOLO SOB DUAS TENSÕES DE ÁGUA NO CULTIVO DE MILHO

Autores: Gabriel Vieira Cordeiro[1], Chansislayne Gabriela da Silva[1], Ezequiel da Silva Campos[1], Gabriel Gomes Garcia[1], Leonardo Peres Moreira[1], Renato Ribeiro Passos[1],

[1]Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias/Departamento de Agronomia, Alto Universitário, s/n, caixa postal 16, Guararema, 29500-000, Alegre - ES, Brasil, gabriel.v.cordeiro@edu.ufes.br, chansislayne_silva@outlook.com, ezequiel.campos@edu.ufes.br, gabrielgomesgarcia979@gmail.com, leo.peres.moreira@hotmail.com, renatoribeiropassos@gmail.com.

Resumo

Objetivou-se avaliar o efeito de doses de biocarvão de casca de café sobre o teor de potássio (K) no solo sob duas tensões de água, utilizando o milho como planta-teste. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 × 2, com doses de 0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 t ha^{-1} de biocarvão e tensões de água de −10 e −30 kPa, com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Aos 45 dias após a semeadura, determinou-se o teor de K no solo. As doses de biocarvão promoveram aumento linear significativo do teor de K, enquanto a tensão de água e a interação entre dose e tensão não apresentaram efeito significativo. Os maiores teores foram observados na dose de 10 t ha^{-1}, correspondente ao limite superior avaliado. Conclui-se que, nas condições experimentais, o aumento das doses de biocarvão de casca de café elevou o teor de K no solo de forma semelhante nas duas tensões de água.

Palavras-chave: Biochar. Condicionador do solo. Atributo químico do solo. Resíduos agrícolas.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias e Agronomia

Introdução

O potássio (K) é um macronutriente essencial ao milho e participa de processos como osmorregulação, homeostase iônica, ativação enzimática e transporte de produtos fotossintéticos, além de estar relacionado à tolerância da cultura a estresses bióticos e abióticos (Zhang *et al*., 2023). A aquisição de K pelas plantas depende de sua disponibilidade no solo e de seu transporte até a superfície radicular, processos associados à difusão e ao fluxo de massa e influenciados pelo conteúdo de água do solo (Wan *et al*., 2025). Em milho, diferentes regimes de irrigação podem alterar a disponibilidade de K no solo e o conteúdo do nutriente nas plantas, evidenciando a participação da condição hídrica na dinâmica do elemento no sistema solo-planta (Wan *et al*., 2025).

O biocarvão pode contribuir para o manejo do K tanto pelo fornecimento do nutriente presente na biomassa de origem quanto por mecanismos de retenção associados a propriedades como capacidade de troca catiônica, porosidade e área superficial (Bilias *et al*., 2023). Entre as matérias-primas avaliadas na literatura, resíduos do processamento do café, especialmente a casca, são apontados como materiais promissores para a produção de biocarvões ricos em K (Bilias *et al*., 2023). Em Latossolo cultivado com café conilon, doses crescentes de biocarvão de palha de café aumentaram a disponibilidade de K, e a temperatura de pirólise influenciou a liberação do nutriente (Alvarenga *et al*., 2023). Em solo arenoso cultivado com milho, biocarvões produzidos com resíduos de café também alteraram atributos químicos do solo, com aumento expressivo do K nos tratamentos que receberam biocarvão de casca de café (Silva *et al*., 2021). A capacidade de biocarvões modificarem a CTC de solos altamente intemperizados, contudo, depende da matéria-prima, da temperatura de pirólise, da dose aplicada e das características do próprio solo (Domingues *et al*., 2020).

Os efeitos do biocarvão também alcançam propriedades hídricas do solo, e uma meta-análise de 37 estudos mostrou aumentos médios na água disponível, capacidade de campo e porosidade total, com magnitude condicionada pela textura do solo e pelas propriedades do biocarvão (Edeh *et al*.,

2020). Em Latossolo tropical arenoso, a aplicação de biocarvão reduziu a densidade do solo e aumentou a retenção de água, a microporosidade e o conteúdo de água disponível (Carvalho *et al*., 2020). Assim, objetivou-se avaliar o efeito de doses de biocarvão de casca de café sobre o teor de potássio no solo sob duas tensões de água, utilizando o milho como planta-teste.

Metodologia

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAE-UFES), localizado no município de Alegre, Espírito Santo, Brasil. Foi utilizado um Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura média (SM), classificado conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

O solo utilizado no experimento foi coletado na área experimental da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) – Campus de Alegre, na profundidade de 20–40 cm. Após a coleta, o solo foi seco ao ar, destorroado e peneirado em malha de 2 mm, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente, foi realizada a caracterização química e física do solo, conforme metodologia descrita por Teixeira *et al*. (2017), sendo os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química e física* dos solos de ambientes pedológicos diferentes utilizados na montagem do experimento

Atributos	Solo Textura Média (SM)
pH (H2O)	5,63
P (mg kg-1)	1,90
P-rem (mg kg-1)	36,3
K (mg kg-1)	27,90
Na (mg kg-1)	0,10
Ca (cmolc kg-1)	0,96
Mg (cmolc kg-1)	0,54
Al (cmolc kg-1)	0,00
H + Al (cmolc kg-1)	2,71
SB (cmolc kg-1)	1,57
t (cmolc kg-1)	1,57
T (cmolc kg-1)	4,28
V (%)	36,78
m (%)	0,00
M.O (g kg-1)	16,04
Fe (mg kg-1)	60
Cu (mg kg-1)	0,9
Zn (mg kg-1)	1,7
Mn (mg kg-1)	36,4
Areia Total	69,58
Silte	20,08
Argila	10,34

*pH: relação solo-água 1:2,5; P: extrator Mehlich 1 e determinação por colorimetria; Na e K: extrator Mehlich-1 e determinação por fotometria de chama; Ca e Mg: extrator KCl 1 mol/L e determinação por espectrometria de absorção atômica; Al: extrator KCl 1 mol/L e determinação por titulometria; H+Al: extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L pH 7,0 e determinação por titulometria; SB: Soma de bases trocáveis; t: capacidade de troca catiônica efetiva; (T): capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V: Índice de saturação de bases; m: Índice de saturação por alumínio; Matéria Orgânica: oxidação de carbono via úmida com dicromato de potássio em meio ácido (H2SO4); Prem (fósforo remanescente): solução de CaCl2 0,01 mol/L contendo 60 mg/L de P. Fe, Cu, Zn e Mn: extrator Mehlich-1 e determinação por espectrometria de absorção atômica. Silte e argila: Método da pipeta — agitação lenta a 50

rpm por 16 horas, com agitador tipo Wagner; dispersante químico: NaOH 0,1 mol/L e determinação das frações silte e argila pelo método da pipeta (Teixeira *et al*., 2017).

Fonte: elaborado pelo próprio autor

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 × 2, constituído por cinco doses de biocarvão de casca de café (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 t ha^{-1}) e duas tensões de água no solo (−10 e −30 kPa), com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais.

O biocarvão utilizado no experimento foi produzido a partir de casca de café e adquirido da empresa NetZero. A caracterização química do biocarvão, bem como sua capacidade de retenção de água (CRA) e área superficial específica, encontra-se apresentada na Tabela 2 e 3 respectivamente.

Tabela 2 - Caracterização* de biocarvão de casca de café utilizado nos experimentos.

Parâmetros	**Resultados**
C (%)	67,3
H (%)	3,64
O (%)	14,8
CTC (cmolc kg^{-1})	43,8
pH (H_2O)	10,2
P (g kg^{-1})	4,23
K (g kg^{-1})	40,9
Ca (g kg^{-1})	12,3
Mg (g kg^{-1})	3,4
Fe (mg kg^{-1})	2820
Cu (mg kg^{-1})	35,4
Zn (mg kg^{-1})	25,7
CRA 10 cm (% ou v/v)	62,6
Área superficial (m^{-2} g^{-1})	2,9
Cinzas %, m/m	12

*Carbono (C), hidrogênio (H) e nitrogênio (N) foram determinados em analisador elementar PerkinElmer Série II 2400, enquanto o oxigênio (O) foi calculado por diferença. O pH foi determinado em água, e a capacidade de troca catiônica (CTC) foi obtida pelo método acetato de sódio–acetato de amônio a pH 7,0. Os teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu e Zn foram determinados após digestão nítrico-perclórica. Capacidade de retenção de água (CRA) sob tensão de 10 cm de coluna de água ou 0,1kPa (10hPa). A área superficial por isotermas de adsorção e dessorção de N2, adquiridas a 77 K em um equipamento JWFB modelo Meso 112. As áreas superficiais especificas foram calculadas utilizando a equação de BET na região de baixa pressão (p/p0=0,200).

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Tabela 3 - Curva de retenção* de água do solo utilizado na montagem do experimento

Potencial mátrico	**Textura Média (SM)**
-10 kPa	0,140
-30 kPa	0,123
-50 kPa	0,113
-300 kPa	0,090
-1500 kPa	0,069

*A curva foi determinada utilizando câmara de pressão de Richards, conforme metodologia padrão para avaliação da retenção hídrica do solo (Teixeira *et al*., 2017).

Fonte: elaborado pelo próprio autor

O experimento foi conduzido em vasos com capacidade de 5 L, contendo 4 kg de solo. As doses de biocarvão correspondentes a cada tratamento foram incorporadas e homogeneizadas ao solo antes da

implantação do experimento.

O milho (*Zea mays* L.) foi utilizado como planta-teste. Foram semeadas cinco sementes por vaso e, aos 10 dias após a semeadura, foi realizado o desbaste, mantendo-se as três plantas mais vigorosas em cada vaso. A adubação foi conduzida conforme as recomendações de Novais *et al*. (1991), utilizando-se 100 mg kg^{-1} de solo de N e 150 mg kg^{-1} de solo de K e 150 mg kg^{-1} de solo para P. Onde P foi aplicado integralmente no plantio, enquanto N e K foram parcelados em duas aplicações, respectivamente, sendo a primeira realizada no plantio e a segunda no intervalo de 15 dias.

Após o estabelecimento das plantas, foram aplicados os dois regimes hídricos, correspondentes aos potenciais mátricos de −10 e −30 kPa. A umidade do solo nos vasos foi controlada por meio da pesagem, sendo a irrigação realizada de acordo com a necessidade de reposição de água para manutenção dos respectivos potenciais mátricos estabelecidos em cada tratamento.

Aos 45 dias após a semeadura, foram coletadas amostras de solo de cada unidade experimental. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente, foi determinado o Potássio (k) do solo, conforme metodologia descrita por Teixeira *et al*. (2017).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando os efeitos das doses de biocarvão, das tensões de água no solo e da interação dose × tensão. Para o fator quantitativo doses de biocarvão, foram ajustados modelos de regressão apenas quando constatado efeito significativo pela ANOVA, adotando-se o nível de 5% de significância.

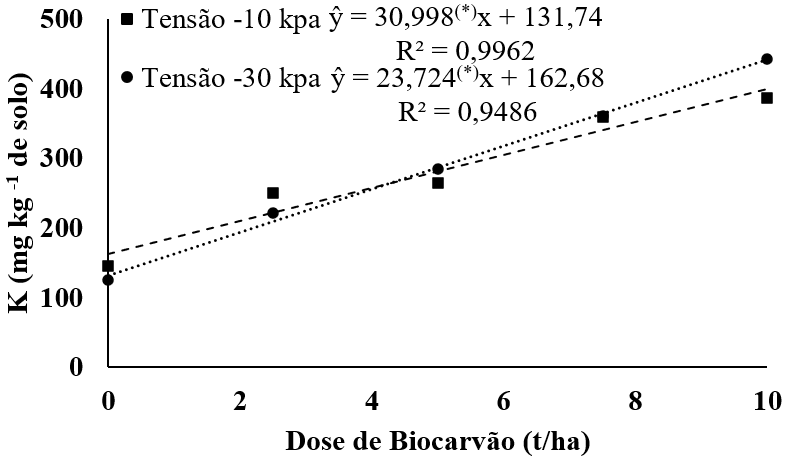
Resultados

Houve efeito significativo das doses de biocarvão sobre os teores de potássio (K) no solo ($p < 0,05$), enquanto a tensão de água e a interação dose × tensão não apresentaram efeito significativo. A ausência de interação indica que o comportamento do K em resposta às doses de biocarvão foi semelhante entre as tensões de −10 e −30 kPa.

Os teores de K apresentaram resposta linear crescente com o aumento das doses de biocarvão em ambas as tensões de água avaliadas (Figura 1). Na tensão de −10 kPa, o teor médio de K aumentou de 145,35 na ausência de biocarvão para 387,45 na dose de 10 t ha^{-1}, correspondendo a um incremento de aproximadamente 166,56%. Na tensão de −30 kPa, o aumento foi ainda mais expressivo, passando de 124,40 na dose 0 para 442,55 na dose de 10 t ha^{-1}, o que representa um incremento de aproximadamente 255,75%.

Como a resposta às doses foi linear e crescente, não foi identificado um ponto de máximo dentro do intervalo experimental. Dessa forma, os maiores teores de K foram observados na dose de 10 t ha^{-1}, correspondente à maior dose avaliada. Apesar das diferenças numéricas entre as duas condições hídricas, não houve interação significativa entre dose e tensão, indicando que a resposta do K às doses de biocarvão não foi estatisticamente influenciada pela tensão de água no solo.

Figura 1 – Valores de Potássio do solo (K) do solo em função as doses de biocarvão sob duas tensões de irrigação diferentes. Significativo $p < 0,05$ (*) pelo teste t.



Fonte: O autor (2026).

Discussão

O teor de K no solo aumentou linearmente com as doses de biocarvão, enquanto a tensão de água e a interação dose × tensão não apresentaram efeito significativo. O biocarvão utilizado continha 40,9 g kg^{-1} de K, indicando possível contribuição direta do material para o aumento do nutriente extraível no solo, comportamento compatível com a capacidade de resíduos de café originarem biocarvões ricos em K (Bilias *et al*., 2023). Em Latossolo, Alvarenga *et al*. (2023) também observaram aumento da disponibilidade de K com doses crescentes de biocarvão de palha de café, enquanto Silva *et al*. (2021), em solo arenoso cultivado com milho, verificaram incremento do K após a aplicação de biocarvões derivados de resíduos de café. Esses resultados reforçam o potencial desses materiais como fontes de K para o solo (Alvarenga *et al*., 2023; Silva *et al*., 2021).

Além do aporte direto de K, mecanismos de retenção podem contribuir para a resposta observada, pois o biocarvão apresentou CTC de 43,8 cmolc kg^{-1}, e propriedades como CTC, porosidade e área superficial podem favorecer a retenção do nutriente no sistema solo-biocarvão (Bilias *et al*., 2023). Domingues *et al*. (2020) demonstraram que os efeitos do biocarvão sobre a CTC dependem da matéria-prima, temperatura de pirólise, dose e características do solo. Entretanto, como a CTC do solo não foi avaliada após a aplicação dos tratamentos, não é possível atribuir o aumento de K exclusivamente a esse mecanismo. Assim, a resposta observada provavelmente envolve o K fornecido pelo biocarvão e possíveis alterações na retenção do nutriente.

A predominância da fração areia no solo utilizado também deve ser considerada, pois a textura influencia a retenção e a disponibilidade de K proveniente de fontes à base de biocarvão (Rodrigues; Silva; Morais, 2025). Ao comparar Latossolos contrastantes, Rodrigues *et al.* (2025) observaram maiores concentrações de K na solução do solo mais arenoso, associadas à menor retenção do nutriente. Além disso, Bao *et al*. (2024) verificaram que a aplicação de biocarvão aumentou frações solúveis e trocáveis de K em solo cultivado com milho.

As tensões de −10 e −30 kPa não modificaram significativamente o teor de K nem sua resposta às doses de biocarvão. Wan *et al*. (2025), avaliando milho sob diferentes regimes de irrigação, observaram alterações na disponibilidade de K com manejos hídricos mais contrastantes, indicando que a resposta do nutriente à água depende da intensidade do estresse imposto.

Conclusão

O biocarvão de casca de café apresenta potencial para contribuir com o suprimento de potássio no solo, promovendo aumento de sua disponibilidade dentro da faixa de doses avaliada. Esse efeito foi mantido nas duas condições hídricas estudadas, indicando que, entre −10 e −30 kPa, a contribuição do biocarvão para o K do solo não dependeu da tensão de água. Assim, o aproveitamento da casca de café na forma de biocarvão pode constituir uma alternativa de interesse para a reciclagem de K no sistema de produção agrícola.

Referências

ALVARENGA, A. C. *et al*. Chemical attributes of an Oxisol with the addition of conilon coffee straw biochar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, e03019, 2023. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.03019.

BAO, Z. *et al*. Long-term biochar application promoted soil aggregate-associated potassium availability and maize potassium uptake. **GCB Bioenergy**, v. 16, e13134, 2024. DOI: 10.1111/gcbb.13134.

BILIAS, F. *et al*. Biochar application as a soil potassium management strategy: a review. **Science of the Total Environment**, v. 858, 159782, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.159782.

CARVALHO, M. L. *et al*. Biochar amendment enhances water retention in a tropical sandy soil. **Agriculture**, v. 10, n. 3, 62, 2020. DOI: 10.3390/agriculture10030062.

DOMINGUES, R. R. *et al*. Enhancing cation exchange capacity of weathered soils using biochar: feedstock, pyrolysis conditions and addition rate. **Agronomy**, v. 10, n. 6, 824, 2020. DOI: 10.3390/agronomy10060824.

EDEH, I. G.; MAŠEK, O.; BUSS, W. A meta-analysis on biochar's effects on soil water properties: new insights and future research challenges. **Science of the Total Environment**, v. 714, 136857, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136857.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. de; GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D. de; LOURENÇO, S. (coord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, DF: Embrapa-SEA, 1991. p. 189–254. (Embrapa-SEA. Documentos, 3).

RODRIGUES, G. N. T. S.; SILVA, C. A.; MORAIS, E. G. de. Agronomic effectiveness of biochar–KCl composites for corn cultivation in tropical soils. **Soil Systems**, v. 9, n. 2, 45, 2025. DOI: 10.3390/soilsystems9020045.

SILVA, C. C. G. da *et al*. Coffee waste as an eco-friendly and low-cost alternative for biochar production impacts on sandy soil chemical attributes and microbial gene abundance. **Bragantia**, v. 80, e2121, 2021. DOI: 10.1590/1678-4499.20200459.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

WAN, H. *et al*. Contrasting maize responses to soil phosphorus and potassium availability driven by biochar under reduced irrigation. **Plant and Soil**, v. 508, p. 677–700, 2025. DOI: 10.1007/s11104-024-06824-2.

ZHANG, M. *et al*. Potassium nutrition of maize: uptake, transport, utilization, and role in stress tolerance. **The Crop Journal**, v. 11, n. 4, p. 1048–1058, 2023. DOI: 10.1016/j.cj.2023.02.009.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).