



BIOCHAR NA AGRICULTURA: RESÍDUOS DE EUCALIPTO EM UMA SOLUÇÃO SUSTENTÁVEL

Bruno Dario L. O. S. S. Filho e Sobrinho^{1*}, Vitória da Silva¹, Élida Caroline Martins de Souza¹, Bruno Roberto Silva de Melo¹, Isaias Tolentino Araújo de Souza¹, Gustavo Jorda da Silva¹, Augusto Ribeiro Kaspary¹, Jonatas de Souza Lima¹, Ana Beatriz Freitas Santos¹, Vânia Aparecida de Sá¹.

Universidade Federal de Alagoas¹

* bruno.sobrinho@ceca.ufal.br

RESUMO

Este estudo teve como objetivo analisar a composição química do biochar (BC) proveniente de duas carvoarias do estado de Alagoas, com foco na identificação dos elementos presentes e no potencial uso como fertilizante. A pesquisa foi realizada no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA/UFAL) e no Laboratório de Tecnologia de Nanosistemas Carreadores de Substâncias Ativas (TecNano), entre março e maio de 2025. Foram analisadas duas amostras (T1 e T2), com três repetições cada, sendo a T1 oriunda de ponteiras e galhos, e a T2 de tocos e raízes. A composição elementar foi determinada por espectroscopia de raios X por dispersão de energia (EDX-700), fornecendo resultados semiquantitativos expressos em porcentagem de massa. O delineamento estatístico utilizado foi a análise descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação - CV). Os resultados indicaram que a T1 foi o tratamento mais promissor, apresentando maiores concentrações médias de cálcio (Ca) 52,60%, ferro (Fe) 23,23% e potássio (K) 18,66%, sendo mais indicada para solos com baixo teor de nutrientes. A T2, por sua vez, apresentou maior teor de silício (Si), sendo recomendada para solos com boa base, embora exija monitoramento devido à presença de contaminantes como cromo (Cr), zinco (Zn) e alumínio (Al). Conclui-se que ambos os BCs podem ser utilizados como fertilizantes, desde que manejados adequadamente. Recomenda-se a continuidade dos estudos, com foco na quantificação de carbono e nitrogênio, visando ampliar seu uso no manejo de solos.

Palavras-chave: Análise química, melhoramento do solo, biofertilizante, composição química, carvão vegetal.

INTRODUÇÃO

O biochar (BC), também conhecido como carvão vegetal, carbono pirogênico ou black carbon, é um subproduto da madeira obtido por meio de pirólise controlada (FROEHLICH, 2014). O BC tem se destacado como uma solução promissora para promover a sustentabilidade na agricultura, com impactos sociais, ambientais e econômicos significativos.

Do ponto de vista ambiental, o carvão vegetal contribui para a mitigação das mudanças climáticas ao atuar como reservatório de carbono no solo, formando uma “piscina de carbono” que reduz as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, melhora a saúde do solo ao intensificar a retenção de água, a capacidade de troca catiônica e a atividade microbiana, promovendo a resiliência dos ecossistemas agrícolas (AYAZ et al., 2024).

Economicamente, a utilização do BC, além de aumentar a produtividade agrícola, reduz os custos com fertilizantes químicos, contribuindo não só para a economia circular, mas também para o benefício financeiro dos agricultores. Socialmente, o uso do biochar favorece a segurança alimentar e o desenvolvimento rural sustentável, uma vez que melhora a fertilidade do solo e amplifica a produtividade, fortalecendo a estabilidade econômica das comunidades rurais e reduzindo a pressão sobre os recursos naturais (MOHAMMED, 2024).

Dessa forma, o biochar representa uma ferramenta multifuncional, integrando benefícios ambientais, econômicos e sociais, alinhando-se aos princípios do desenvolvimento sustentável. Assim, este trabalho teve como objetivo realizar a análise química semiquantitativa do biocarvão proveniente de duas produtoras localizadas no estado de Alagoas, visando identificar os elementos químicos essenciais presentes, como cálcio (Ca), potássio (K), ferro (Fe), entre outros, com o intuito de potencializar o valor comercial do produto quando aplicado como fertilizante.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Alagoas (UFAL), no período de março a maio de 2025, e dividido em duas etapas. A primeira foi realizada no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias

(CECA/UFAL), no Laboratório de Produtos Florestais (LPF), localizado no município de Rio Largo - AL. A segunda etapa ocorreu no Campus A.C. Simões (sede da UFAL), no Laboratório de Tecnologia de Nanosistemas Carreadores de Substâncias Ativas (TecNano), situado no município de Maceió - AL.

O material estudado (biocarvões) é proveniente de resíduos de madeira de *Eucalyptus* sp., disponibilizados por duas carvoarias localizadas no município de Atalaia - AL. Esses materiais foram enviados ao CECA em março para a realização do estudo. A amostra 01, fornecida pela primeira carvoaria, é derivada da carbonização de ponteiras e galhos (Tratamento 01 - T1), enquanto a amostra 02 provém da carbonização de tocos e raízes (Tratamento 02 - T2). No delineamento experimental, foi aplicada uma análise descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação) em duas amostras compostas, com três repetições para cada tratamento.

Na primeira etapa do experimento, as amostras foram separadas em quatro diferentes faixas granulométricas (pequena, média, grande e finos), pesadas e, em seguida, foi determinada a porcentagem correspondente a cada fração. Posteriormente, as quatro frações de cada amostra foram reunidas, formando uma amostra composta com aproximadamente 1 kg. Esse material foi moído em moinho tipo Wiley, com o objetivo de padronizar o tamanho das partículas. Após a moagem, as amostras foram peneiradas com malha de 60 mesh.

Na segunda etapa do experimento, foram realizadas três repetições por tratamento para posterior análise semiquantitativa, utilizando a técnica de espectroscopia de raios X por dispersão de energia (EDX), com o equipamento Shimadzu, modelo EDX-700, e o auxílio do software PCEDX Pro, que estima a proporção dos elementos químicos em porcentagem. Para facilitar a visualização dos gráficos, foi utilizado o aplicativo OriginPro, versão 2018. A análise da porcentagem dos elementos foi realizada com base na média das três repetições, seguida do cálculo do desvio padrão e do coeficiente de variação (CV).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na caracterização dos teores de elementos químicos do biochar (BC), por meio do EDX-700, observou-se, nas três repetições do T1, a presença de nove elementos no total (Figura 1): cálcio (Ca), ferro (Fe), potássio (K), fósforo (P), cobre (Cu), enxofre (S), manganês (Mn), níquel (Ni) e titânio (Ti). Os elementos predominantes foram Ca, Fe e K. O cálcio apresentou a segunda maior intensidade (> 4 CPS) e se destacou pela sua frequência (três vezes) em cada repetição, resultando na maior área sob seus picos de energia. O ferro, por sua vez, apresentou a maior intensidade (entre 7 e 9 CPS) em relação aos demais elementos nas três repetições, com picos de energia variando entre 6 e 7 nm. O potássio ocupou a terceira posição em intensidade (> 1 CPS). Os demais elementos (S, P, Ti, Mn, Ni e Cu) apresentaram intensidades entre 0 e 1 CPS, distribuídas em diferentes picos de energia.

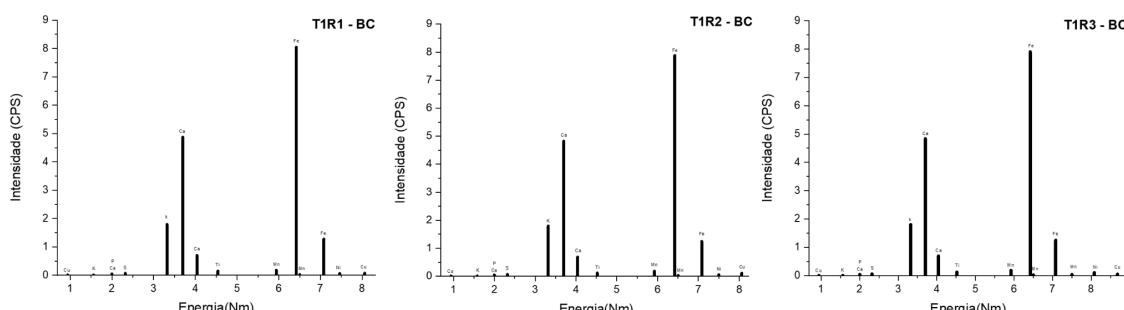


Figura 1. Análise química semiquantitativa realizada por EDX-700 no tratamento 01 (T1) contendo as três repetições do Biochar.

Legenda: A onda de energia dos elementos químicos presente é dada por Nanômetro (Nm), enquanto a intensidade é dada por Contagem Por Segundo (CPS).

No T2, foram identificados 12 elementos nas três repetições (Figura 2): silício (Si), devido à matéria-prima ser derivada de raízes; cobre (Cu); potássio (K); cálcio (Ca); ferro (Fe); enxofre (S); manganês (Mn); níquel (Ni); titânio (Ti); cromo (Cr); zinco (Zn), ausente na repetição 02; e alumínio (Al), ausente na repetição 01. Os resultados foram semelhantes aos da amostra T1, com destaque para os elementos Ca, Fe e K. No entanto, apesar da intensidade do silício ser > 0 CPS, a área sob seu pico foi a maior, tornando-o o elemento mais expressivo. O cálcio, que também apresentou três picos de energia em cada repetição (entre 3 e 4 CPS), ocupou a segunda posição, com área total significativa. O ferro apresentou a maior intensidade (entre 8 e 14 CPS). Quanto aos demais elementos (Cu, S, Cr, Mn, Ni, Zn e Al), todos apresentaram intensidades > 0 CPS, distribuídas em diferentes picos de energia.

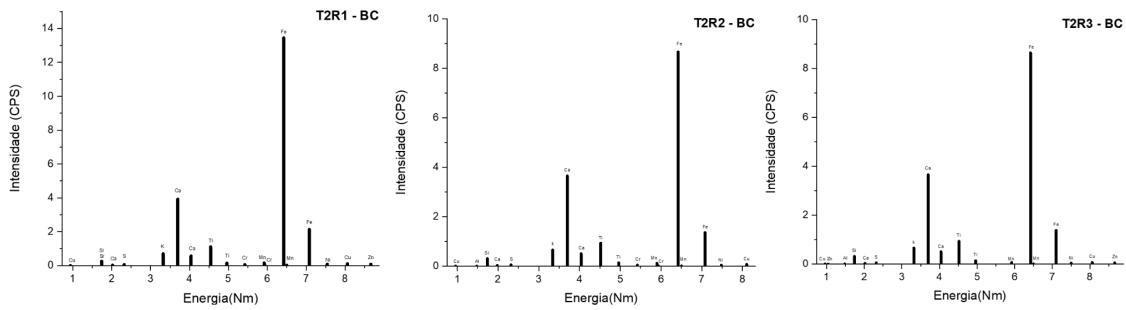


Figura 2. Análise química semiquantitativa realizada por EDX-700 no tratamento 02 (T2) contendo as três repetições do Biochar.

Legenda: A onda de energia dos elementos químicos presente é dada por Nanômetro (Nm), enquanto a intensidade é dada por Contagem Por Segundo (CPS).

Com base na média das porcentagens obtidas pela análise semiquantitativa da área das amostras (Tabela 1), observa-se que o T1 se sobressai em relação ao T2, especialmente nos três elementos predominantes: Ca (52,56%), Fe (23,23%) e K (18,67%). Os únicos elementos em que o T2 supera o T1 são o Ti (4,49%) e o S (1,68%). O cromo (Cr), com 0,13%; o zinco (Zn), com 0,06%; o silício (Si), com 41,48%; e o alumínio (Al), com 7,17%, são exclusivos da amostra T2, enquanto o fósforo (P), com 1,46%, é exclusivo da amostra T1.

Tabela 1. Distribuição percentual dos elementos químicos presentes nas três repetições dos dois tratamentos, contendo média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV).

Elementos	T1R1	T1R2	T1R3	Média	DP	CV	T2R2	T2R2	T2R3	Média	DP	CV
Ca	52,44	52,69	52,55	52,56	0,13	0%	26,85	24,95	24,72	25,51	1,17	5%
Fe	23,43	23,15	23,12	23,23	0,17	1%	20,49	11,70	11,46	14,55	5,15	35%
K	18,52	18,74	18,74	18,67	0,13	1%	7,05	6,72	6,66	6,81	0,21	3%
S	1,64	1,64	1,61	1,63	0,02	1%	1,72	1,69	1,64	1,68	0,04	2%
P	1,54	1,37	1,47	1,46	0,08	6%	-	-	-	-	-	-
Ti	1,39	1,14	1,25	1,26	0,12	10%	5,19	4,17	4,11	4,49	0,61	13%
Mn	0,68	0,70	0,73	0,70	0,02	3%	0,32	0,22	0,12	0,22	0,10	46%
Ni	0,16	0,14	0,12	0,14	0,02	15%	0,13	0,05	0,05	0,08	0,05	60%
Cu	0,15	0,24	0,25	0,21	0,05	24%	0,14	0,07	0,06	0,09	0,04	46%
Si	-	-	-	-	-	-	37,55	43,30	43,60	41,48	3,41	8%
Cr	-	-	-	-	-	-	0,16	0,12	0,11	0,13	0,02	18%
Zn	-	-	-	-	-	-	0,09	-	0,04	0,06	0,03	51%
Al	-	-	-	-	-	-	-	-	6,95	7,39	7,17	0,31

A análise dos resultados mostrou que o coeficiente de variação (CV) da maioria dos elementos, como Ca, Fe e K em T1, foi muito baixo (0–3%), o que demonstra alta confiabilidade dos dados para esses elementos. Para T2, a maioria dos elementos também apresentou CVs baixos ($\leq 10\%$), como Si, Ca, K, S e Al. No entanto, para Cu (46%), Mn (46%), Ni (60%), Zn (51%) e Fe (35%), a variabilidade foi maior, provavelmente devido à baixa concentração desses elementos, o que é comum em técnicas como a EDX, que apresentam limitações na detecção precisa de elementos em baixas concentrações.

Os elementos presentes no BC contribuem tanto para a composição nutricional quanto para as funções biológicas das plantas, promovendo seu melhor desenvolvimento (BARGAZ et al., 2018). Assim, tanto T1 quanto T2 podem ser utilizados como fertilizantes potenciais, pois contêm nutrientes essenciais como cálcio (Ca), potássio (K), fósforo (P) e micronutrientes como ferro (Fe), manganês (Mn) e cobre (Cu). No entanto, o T1 se destaca como o mais indicado para uso como biofertilizante, por ser mais rico em micronutrientes essenciais ao crescimento vegetal e apresentar maior pureza, estando livre de contaminantes como Cr, Zn e Al. Dessa forma, é recomendado para solos pobres em macroelementos. Já o T2 apresenta potencial para aplicação em solos com boa saturação de bases, mas que necessitam de suplementação com micronutrientes, sendo especialmente interessante para o fornecimento de silício (Si). No entanto, a presença de elementos como Al, Cr e Zn pode representar uma limitação, dependendo da sensibilidade das culturas ao acúmulo desses metais.

Biocarvões ricos em cálcio (Ca) e potássio (K) podem aumentar a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, favorecendo a retenção de nutrientes e reduzindo sua lixiviação (ALKHARABSHEH et al., 2021). Ambos os tratamentos analisados apresentam esses elementos, mas a amostra T1 possui concentrações significativamente maiores, tornando-se mais promissora para a fertilização de solos degradados. Quanto à

presença de titânio na amostra, esta provavelmente ocorreu por contaminação durante a produção do material nos fornos, sendo fundamental garantir o manejo adequado das amostras. Em relação ao nitrogênio (N) e ao carbono (C), é necessário dar continuidade ao trabalho para quantificar esses elementos, bem como outros nutrientes importantes que não foram abordados neste estudo.

CONCLUSÕES

- Os elementos majoritários de cada amostra: T1 = Ca (52,60%), Fe (23,232%) e K (18,66%); e T2 = Si (41,48%), Ca (25,51%), Fe (14,55%) e K (6,81%).
- O tratamento T1 apresentou melhor desempenho estatístico, com predominância de elementos essenciais em maiores concentrações e maior pureza em comparação ao T2.
- Recomenda-se a aplicação do T1 em solos com deficiência de Ca, Fe e K, enquanto o T2 pode ser utilizado para suplementação de silício (Si) ou como complemento nutricional. No entanto, o uso do T2 exige cautela devido à sua impureza.
- O biochar (BC) de ambas as produtoras apresenta potencial para uso como fertilizante, desde que seja realizado o manejo adequado do material.
- É necessário garantir o manejo correto desde a produção do BC até o transporte, a fim de evitar contaminações que comprometam sua qualidade.
- Sugere-se dar continuidade à pesquisa, com o objetivo de quantificar carbono (C), nitrogênio (N), entre outros elementos importantes.

REFERÊNCIAS

- ALKHARABSHEH, HIBA M. et al. Biochar and its broad impacts in soil quality and fertility, nutrient leaching and crop productivity: A review. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 993, 2021.
- ALLOHVERDI, TARA et al. A review on current status of biochar uses in agriculture. **Molecules**, v. 26, n. 18, p. 5584, 2021.
- AVELAR, FELIPE VALADARES RIBEIRO et al. A importância do micronutriente ferro para as plantas: uma breve revisão. **Atena Editora**, 2024.
- AYAZ, MUHAMMAD et al. Biochar and carbon-negative technologies: exploring opportunities for climate change mitigation. **Biochar**, v. 7, n. 1, p. 17, 2025.
- BARGAZ, ADNANE et al. Soil microbial resources for improving fertilizers efficiency in an integrated plant nutrient management system. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, p. 1606, 2018.
- DE OLIVEIRA SOUSA, VALÉRIA FERNANDES; DOS SANTOS, GISELE LOPES. Elemento cromo na nutrição mineral de plantas. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 2, 2018.
- DINCĂ, LUCIAN CONSTANTIN et al. Fertilization and soil microbial community: a review. **Applied Sciences**, v. 12, n. 3, p. 1198, 2022.
- FROEHLICH, PAULO LEANDRO; MOURA, ANGELA. Carvão vegetal: propriedades físico-químicas e principais aplicações. **Revista Tecnologia e Tendências**, v. 9, n. 1, p. 13–32, 2014.
- IPNI. **Nutri-Fatos: Cobre**. Disponível em: <[https://www.npct.com.br/publication/nutrifacts-brasil.nsf/book/NUTRIFACTS-BRASIL-10/\\$FILE/NutriFacts-BRASIL-10.pdf](https://www.npct.com.br/publication/nutrifacts-brasil.nsf/book/NUTRIFACTS-BRASIL-10/$FILE/NutriFacts-BRASIL-10.pdf)>. Acesso em: 02 jun. 2025.
- KALENBORN DO BRASIL. **Qual a diferença entre carvão mineral e carvão vegetal?** Disponível em: <<https://kalenborn.com.br/qual-a-diferenca-entre-carvao-mineral-e-carvao-vegetal/>>. Acesso em: 02 jun. 2025.
- MOHAMMED, SSEMWANGA et al. Co-designing sustainable biochar business models with sub-Saharan African communities for inclusive socio-economic transformation. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 15802, 2024.
- OWSIANIAK, MIKOŁAJ et al. Environmental and economic impacts of biochar production and agricultural use in six developing and middle-income countries. **Science of the Total Environment**, v. 755, p. 142455, 2021.
- REVISTA CULTIVAR. **Carvão vegetal pirogênico (biochar): de uma antiga prática indígena a uma inovação para a agricultura e o setor florestal.** Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/noticias/artigo-carvao-vegetal-pirogenico-biochar-de-uma-antiga-pratica-indigena-a-uma-inovacao-para-a-agricultura-e-o-setor-florestal>>. Acesso em: 02 jun. 2025.
- RIBEIRO, FABIANA PIONTEKOWSKI et al. Carbon storage in different compartments in Eucalyptus stands and native cerrado vegetation. **Plants**, v. 12, n. 14, p. 2751, 2023.