

**AValiação DO Crescimento DO Abacaxizeiro BRS Imperial EM
Diferentes Doses De Biocarvão****EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA PIÑA ‘BRS IMPERIAL’ CON
DIFERENTES DOSIS DE BIOCARBÓN****EVALUATION OF GROWTH OF ‘BRS IMPERIAL’ PINEAPPLE UNDER
DIFFERENT BIOCHAR DOSES**

Apresentação: Comunicação Oral

Grazielly Lessa Rocha¹; Letícia Marcela Ramos Galvão²; Jônata de Carvalho Calheiros Lopes³ Mayara Oliveira Souza⁴; Eurico Eduardo Pinto de Lemos⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.XCOINTERPDVAgro.0136>

RESUMO

O biocarvão tem sido proposto como condicionador de solos tropicais, porém seus efeitos em fruteiras perenes ainda carecem de evidências em condições de campo. Esse trabalho objetivou avaliar o efeito de doses de biocarvão sobre atributos vegetativos do abacaxizeiro ‘BRS Imperial’ cultivado em Latossolo Amarelo na Zona da Mata de Alagoas. O experimento foi conduzido em campo, em delineamento em blocos casualizados, com quatro doses de biocarvão (0, 20, 40 e 60 t ha⁻¹). Aos 285 dias após o plantio (DAP) foram mensurados o número de folhas por planta (NFP), a altura de planta (AP), o diâmetro de planta (DP), o comprimento da folha D (CD) e o diâmetro da folha D (DF). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) considerando a dose de biocarvão como fator qualitativo, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). As variáveis apresentaram variação de baixa amplitude entre as doses. A ANOVA indicou efeito global do biocarvão apenas para NFP ($F=4,01$; $p=0,021$). Os resultados sugerem que na fase vegetativa e nas condições avaliadas, o biocarvão atuou possivelmente como um condicionador, promovendo ajustes físico-químicos do solo, mas que não se traduziram em alterações morfológicas detectáveis no curto prazo. Conclui-se então que a aplicação das doses de 20, 40 e 60 t ha⁻¹ de biocarvão não alterou significativamente os atributos vegetativos avaliados até a data da indução ao florescimento (285 DAP) do primeiro ciclo de cultivo do abacaxizeiro BRS Imperial, embora haja indícios de efeito discreto sobre o NFP.

Palavras-Chave: Ananas comosus; Agricultura de baixo carbono; Fertilidade do solo; Biochar;

¹ Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, UFAL, grazielly.rocha@ceca.ufal.br

² Agronomia, UFAL, leticia.galvao@ceca.ufal.br

³ Agronomia, UFAL, jonata.lopes@ceca.ufal.br

⁴ Agronomia, UFAL, mayara.souza@ceca.ufal.br

⁵ Doutorado em Biotecnologia Cultura de Tecidos Vegetais, University of London, eurico@ceca.ufal.br



Latosolo Amarelo.

RESUMEN

Biochar has been proposed as a promising alternative for the sustainable management of tropical soils; however, its effects on perennial fruit crops under field conditions remain scarcely documented. This study aimed to evaluate the effect of biochar doses on the vegetative attributes of pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr. cv. BRS Imperial) grown in a Yellow Latosol in the forest zone of Alagoas, Brazil. The field experiment was carried out in a randomized block design with four biochar doses (0, 20, 40, and 60 t ha⁻¹). At 285 days after planting (DAP), the following variables were measured: number of leaves per plant (NFP), plant height (AP), plant diameter (DP), D-leaf length (CD), and D-leaf diameter (DF). Data were subjected to analysis of variance (ANOVA), considering biochar dose as a qualitative factor, and means were compared using Tukey's test ($\alpha = 0.05$). A significant effect was observed only for NFP ($F = 4.01$; $p = 0.021$), whereas the other variables showed low variation among treatments. The results suggest that, at the vegetative stage, biochar may act as a soil conditioner, improving physical and chemical soil properties, but without promoting consistent morphological changes in the short term. It is concluded that biochar application at 20, 40, and 60 t ha⁻¹ did not significantly affect the vegetative traits evaluated up to floral induction (285 DAP) in the first production cycle of BRS Imperial pineapple, although slight effects on NFP were detected.

Keywords: *Ananas comosus*; Low-carbon agriculture; Soil fertility; Biochar; Yellow Latosol.

Palabras clave: *Ananas comosus*; Agricultura de bajas emisiones de carbono; Fertilidad del suelo; Biocarbón; Latosol Amarillo.

RESUMEN

El biocarbón ha sido propuesto como una alternativa prometedora para el manejo sostenible de los suelos tropicales; sin embargo, sus efectos en frutales perennes bajo condiciones de campo aún son poco documentados. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de dosis de biocarbón sobre los atributos vegetativos de la piña (*Ananas comosus* (L.) Merr. cv. BRS Imperial) cultivada en un Latossolo Amarillo en la Zona da Mata de Alagoas, Brasil. El experimento de campo se realizó en un diseño de bloques al azar, con cuatro dosis de biocarbón (0, 20, 40 y 60 t ha⁻¹). A los 285 días después de la siembra (DAP), se midieron las siguientes variables: número de hojas por planta (NFP), altura de planta (AP), diámetro de planta (DP), longitud de la hoja D (CD) y diámetro de la hoja D (DF). Los datos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA), considerando la dosis de biocarbón como factor cualitativo, y las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). Se observó efecto significativo únicamente para NFP ($F = 4,01$; $p = 0,021$), mientras que las demás variables mostraron baja variación entre tratamientos. Los resultados sugieren que, en la etapa vegetativa, el biocarbón puede actuar como acondicionador del suelo, promoviendo ajustes físico-químicos, pero sin generar cambios morfológicos consistentes en el corto plazo. Se concluye que la aplicación de biocarbón en dosis de 20, 40 y 60 t ha⁻¹ no afectó significativamente los atributos vegetativos evaluados hasta la inducción floral (285 DAP) en el primer ciclo productivo de la piña BRS Imperial, aunque se detectaron ligeros efectos sobre el NFP.



Palabras clave: *Ananas comosus*, Latossolo Amarillo, biocarbón, manejo sostenible, piña.

INTRODUÇÃO

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* (L.) Merr.) é uma frutífera tropical de expressiva importância econômica e social, amplamente cultivada em diversas regiões brasileiras devido às condições climáticas favoráveis e à grande aceitação da fruta no mercado. O Brasil figura entre os maiores produtores mundiais, com destaque para regiões do Nordeste, Sudeste e Norte, que apresentam elevada produtividade e qualidade de frutos. Entre as cultivares disponíveis, a ‘BRS Imperial’ tem se destacado por reunir características comerciais desejáveis, como resistência à fusariose, fruto com acidez reduzida e polpa de coloração amarela intensa, atributos que favorecem tanto o consumo in natura quanto o processamento industrial. Além disso, a cultivar apresenta ciclo médio de produção e elevado rendimento, sendo uma alternativa promissora para produtores que buscam reduzir perdas e aumentar a competitividade no mercado (VENTURA et al., 2009).

O manejo adequado do solo é um fator determinante para o desempenho produtivo do abacaxizeiro, especialmente em solos tropicais altamente intemperizados, como os Latossolos, que apresentam baixa fertilidade natural e limitada disponibilidade de nutrientes essenciais. Nos últimos anos, a utilização de condicionadores orgânicos, como o biocarvão, tem despertado interesse de pesquisadores e produtores como estratégia para melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Esse insumo, derivado da pirólise de biomassa vegetal sob condições controladas de oxigênio, pode contribuir para aumentar a eficiência no uso de nutrientes, reduzir perdas por lixiviação e melhorar a resiliência das culturas frente a estresses hídricos e nutricionais (LEHMANN; JOSEPH, 2015).

O biocarvão caracteriza-se por ser um material carbonáceo estável, com alta porosidade, grande área superficial e capacidade de adsorção, resultando em benefícios potenciais para o sistema produtivo. A sua incorporação ao solo pode aumentar a capacidade de retenção de água, elevar a capacidade de troca catiônica e favorecer a colonização por microrganismos benéficos. Tais características fazem com que o biocarvão seja especialmente relevante para culturas perenes e semiperenes, como o abacaxizeiro, que permanecem por longos períodos no campo e dependem de um manejo eficiente da fertilidade para expressar seu potencial produtivo (GLASER et al., 2002; JEFFERY et al., 2011).

Diversos estudos apontam que a aplicação de biocarvão pode interagir de maneira sinérgica com adubos minerais e orgânicos, potencializando os efeitos positivos sobre o desenvolvimento vegetativo e a produtividade. Entretanto, a magnitude dessas respostas varia de acordo com a dose aplicada, o tipo de biomassa utilizada na produção do biocarvão, as condições climáticas e as características físico-químicas do solo. Dessa forma, pesquisas regionais específicas são essenciais para determinar as doses mais adequadas e avaliar o custo-benefício da adoção dessa tecnologia na cultura do abacaxi (BRASSARD et al., 2016; NOVOTNY et al., 2015).



O cultivo do abacaxi possui importância crescente na economia global, sendo o Brasil um dos maiores produtores mundiais. Segundo dados da FAO (2023), a produção mundial ultrapassa 28 milhões de toneladas, com destaque para Filipinas, Tailândia e Costa Rica, além do Brasil. A cultivar BRS Imperial, por sua vez, vem ampliando sua participação no mercado nacional, pois combina resistência a doenças com características de qualidade que atendem tanto o consumo in natura quanto a indústria.

A política agrícola brasileira também destaca a adoção de práticas de baixo carbono. O Plano ABC+ (MAPA, 2021) reconhece o biochar como tecnologia estratégica para o sequestro de carbono e melhoria da fertilidade de solos tropicais. Assim, avaliar o efeito de doses de biocarvão em fruteiras tropicais, como o abacaxi, contribui não apenas para a ciência agrônoma, mas também para compromissos ambientais do país.

Nesse contexto, a avaliação do crescimento e da produção do abacaxizeiro ‘BRS Imperial’ em função de diferentes doses de biocarvão é fundamental para gerar informações técnicas que subsidiem recomendações de manejo mais sustentáveis. Além de contribuir para a melhoria da fertilidade do solo e para o aumento da produtividade, o uso do biocarvão também está alinhado às práticas de agricultura de baixo carbono, promovendo a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e o sequestro de carbono atmosférico. Assim, estudos nesse campo podem proporcionar avanços significativos tanto na perspectiva econômica quanto ambiental da produção de abacaxi no Brasil (SILVA et al., 2020).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* (L.) Merr.) é uma frutífera tropical de elevada importância econômica e social, cultivada amplamente em países de clima quente e úmido. No Brasil, ocupa posição de destaque na fruticultura, com produção expressiva em estados como Pará, Paraíba, Bahia e Minas Gerais. A cultivar ‘BRS Imperial’, desenvolvida pela Embrapa, é resultado de programas de melhoramento genético voltados para atender à demanda por frutos de qualidade superior e maior resistência a doenças. Entre suas principais características agrônomicas, destacam-se a resistência à fusariose (*Fusarium guttiforme*), frutos de formato cilíndrico, polpa de coloração amarela intensa, sabor adocicado e baixa acidez, fatores que a tornam competitiva para o consumo in natura e para a indústria de processamento (CABRAL et al., 2015).

Apesar dessas qualidades, o desempenho produtivo do abacaxizeiro pode ser limitado em solos tropicais altamente intemperizados, como os Latossolos Amarelos, comuns em várias regiões produtoras. Esses solos apresentam baixa fertilidade natural, acidez elevada e baixa saturação por bases, condições que reduzem a disponibilidade de Ca, Mg e K e elevam o risco



de toxicidade por Al^{3+} nas raízes. Adicionalmente, a presença de óxidos de Fe e Al favorece a fixação de fósforo, diminuindo sua disponibilidade, enquanto a baixa CTC e, em texturas mais arenosas, a menor retenção de água, aumentam as perdas por lixiviação e a sensibilidade a déficits hídricos ao longo do ciclo (EMBRAPA, 2018; FERREIRA et al., 2022; MELO et al., 2017).

Diante desse quadro, práticas que corrijam a acidez e incrementem a CTC e o armazenamento de água tornam-se estratégicas — por exemplo, calagem/gessagem, incremento de matéria orgânica (compostos, adubos verdes) e o uso de condicionadores como o biochar, capazes de elevar pH, aumentar a CTC efetiva e melhorar a retenção hídrica e a estrutura porosa em Latossolos, com reflexos positivos no crescimento de frutíferas (GLASER et al., 2002; LEHMANN; JOSEPH, 2015; FERREIRA et al., 2022; SILVA et al., 2021).

O uso de condicionadores de solo, como o biocarvão, tem se mostrado promissor no manejo sustentável da fertilidade. Produzido pela pirólise de resíduos vegetais em condições de baixa disponibilidade de oxigênio, o biocarvão é rico em carbono estável e apresenta propriedades que favorecem a retenção de água, a aeração e a capacidade de troca catiônica. Sua porosidade e elevada área superficial oferecem sítios para a adsorção de nutrientes e abrigam microrganismos benéficos, promovendo a atividade biológica e contribuindo para a formação de agregados estáveis no solo (STEINER et al., 2007; MAJOR et al., 2010).

Além dos benefícios diretos na fertilidade do solo, o biocarvão pode interagir de forma sinérgica com adubos minerais e orgânicos. Essa interação aumenta a eficiência no uso de nutrientes, reduz perdas por lixiviação e prolonga a disponibilidade de macro e micronutrientes ao longo do ciclo da cultura. Em fruteiras tropicais, como o abacaxizeiro, estudos têm demonstrado que a adição de biocarvão pode resultar em maior vigor vegetativo, aumento do número e peso dos frutos e melhoria da qualidade final da produção (CHENG et al., 2006; THIES; RILLIG, 2009).

Outro aspecto relevante é o papel do biocarvão na sustentabilidade agrícola. Ao incorporar carbono estável ao solo, ele atua como importante estratégia de sequestro de carbono e mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Assim, seu uso contribui para a agricultura de baixo carbono, alinhando-se a políticas públicas e programas de incentivo à redução do impacto ambiental da produção agrícola. Experimentos conduzidos em diferentes regiões do mundo indicam que doses adequadas de biocarvão, associadas ao manejo nutricional equilibrado, podem gerar resultados consistentes em produtividade e conservação do solo (ZHANG et al., 2016).

O biocarvão apresenta propriedades químicas e físicas distintas em comparação a outros condicionadores de solo. Sua alta porosidade, pH alcalino e capacidade de troca catiônica conferem-lhe potencial de correção da acidez, adsorção de nutrientes e melhoria da retenção hídrica em solos tropicais (Novotny et al., 2023). Estudos recentes na Nigéria, China e México reforçam os ganhos de produtividade em fruteiras, hortaliças e cereais.



Em comparação, compostos orgânicos e esterco têm efeito mais rápido, mas menos persistente, enquanto pós de rocha podem enriquecer em micronutrientes, mas apresentam baixa solubilidade. O biocarvão, por sua estabilidade, permanece no solo por décadas, atuando também como estratégia de mitigação de gases de efeito estufa (JEFFERY et al., 2021).

Dessa forma, a avaliação do desempenho do abacaxizeiro 'BRS Imperial' sob diferentes doses de biocarvão torna-se relevante não apenas para definir recomendações técnicas regionais, mas também para comprovar os benefícios agrônômicos e ambientais dessa prática. A obtenção de dados científicos sobre a interação entre biocarvão, fertilidade do solo e produção de frutos pode orientar agricultores e técnicos no uso racional de insumos, garantindo maior rentabilidade e sustentabilidade ao sistema produtivo.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), localizado no município de Rio Largo – AL, nas coordenadas geográficas 9°28' S e 35°49' W, a uma altitude média de 127 m (IBGE, 2023). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo As' (tropical com estação seca no verão), apresentando temperatura média anual de 25,4 °C e precipitação média anual de aproximadamente 1.800 mm, concentrada entre os meses de abril e agosto. Além disso, a área experimental localiza-se em Rio Largo – AL, inserida na Zona da Mata alagoana. A região apresenta precipitação anual média de 1.800 mm, concentrada no período de abril a agosto. Temperaturas médias variam entre 22 e 30 °C, com umidade relativa do ar superior a 75% (INMET, 2023).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2018), textura média, apresentando baixa fertilidade natural, acidez elevada e baixa saturação por bases. Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo na camada de 0–20 cm para caracterização química e física, seguindo metodologias descritas por Teixeira et al. (2017). O preparo do solo consistiu em aração, gradagem e levantamento de canteiros, seguido de adubação de plantio conforme recomendação para a cultura do abacaxizeiro.

Antes da instalação, foram realizadas análises químicas e físicas do Latossolo Amarelo, indicando baixa saturação por bases e pH em torno de 5,0. A caracterização do biocarvão revelou pH 8,2, carbono orgânico de 60%, cinzas de 15% e relação C/N de 35, com origem em resíduos vegetais da região submetidos à pirólise lenta a 450 °C.



O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 4×4 , correspondendo a quatro doses de biocarvão (0, 20, 40 e 60 t ha^{-1}). Cada parcela foi composta por 12 plantas da cultivar ‘BRS Imperial’, espaçadas de acordo com as recomendações técnicas para a cultura (0,90 m entre linhas e 0,50 m entre plantas).

As variáveis vegetativas avaliadas foram: número de folhas por planta (NFP), obtido por contagem direta; altura de planta (AP, cm), medida da superfície do solo ao ápice da roseta com fita métrica; diâmetro de planta (DP, cm), determinado como a maior largura da copa ao nível da roseta; comprimento da folha D (CD, cm), medido na folha D totalmente expandida, do ponto de inserção no caule até o ápice; e diâmetro da folha D (DD, cm), mensurado no terço médio da mesma folha com régua milimetrada. As avaliações foram realizadas aos 285 dias após o plantio (DAP), nas plantas úteis de cada parcela (excluídas as bordaduras), e os dados foram expressos em médias por parcela para posterior análise de variância e comparação de médias (Tukey, 5%).



Figura 1 - Avaliações de crescimento vegetativo no abacaxizeiro da variedade BRS Imperial

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para pequenos produtores, o biocarvão pode ser aproveitado como insumo de baixo custo quando produzido a partir de resíduos locais (poda, cascas, restos de cultura). Mesmo sem ganhos morfológicos imediatos, sua função como condicionador (pH, CTC, retenção hídrica) tende a melhorar a resiliência do sistema, especialmente em veranicos e em solos ácidos. Recomenda-se priorizar doses moderadas ($20\text{--}40 \text{ t ha}^{-1}$) associadas ao manejo nutricional equilibrado (correção da acidez e adubações fracionadas), avaliando custos e logística de produção/obtenção do material.

Os resultados obtidos podem ser analisados variável por variável. No número de folhas por planta (NFP), houve diferença global pela ANOVA, mas sem separação de médias pelo teste de Tukey, sugerindo efeito discreto. Em estudos conduzidos em Gana e na Índia, incrementos significativos foram relatados com doses acima de 30 t ha^{-1} , especialmente quando



combinadas com adubação mineral (Hanyabui et al., 2024).

Na altura de planta (AP), as variações foram pequenas entre doses. Esse comportamento é consistente com outros trabalhos em solos altamente intemperizados, nos quais o biochar age principalmente como condicionador físico-químico sem promover, no curto prazo, diferenças expressivas no crescimento (Yang et al., 2024).

O diâmetro de planta (DP), o comprimento da folha D (CD) e o diâmetro da folha D (DD) também não diferiram estatisticamente. Entretanto, tendências numéricas sugerem que doses intermediárias (20–40 t ha⁻¹) podem favorecer a expansão foliar. Essa hipótese merece avaliação em ensaios multianuais, pois variáveis vegetativas podem refletir ganhos apenas em ciclos subsequentes.

Aos 285 DAP, o fator biocarvão apresentou efeito global apenas para o número de folhas por planta (NFP) na ANOVA (F = 4,01; p = 0,021). Para altura de planta (AP), diâmetro de planta (DP), comprimento da folha D (CD) e diâmetro da folha D (DD), os efeitos foram não significativos (p > 0,05) (Tabela 1). Apesar da significância em NFP, o pós-teste de Tukey não separou as doses, indicando oscilações de baixa amplitude entre níveis e ausência de hierarquia clara. Esse padrão é típico quando o biocarvão atua sobretudo como condicionador físico-químico (melhorias graduais em retenção de água e CTC), sem ultrapassar, no curto prazo, o limiar para diferenças detectáveis estatisticamente (GLASER; LEHMANN; ZECH, 2002; JEFFERY et al., 2011; LEHMANN; JOSEPH, 2015).

Tabela 1 – Análise de Variância (ANOVA) das Variáveis Vegetativas do Abacaxizeiro

	QM				
	VARIÁVEIS VEGETATIVAS ANALISADAS				
	NFP	AP	DP	DD	CD
BIOCHAR	48,99 ^{ns}	32,51 ^{ns}	14,94 ^{ns}	30,14 ^{ns}	0,18 ^{ns}
CV %	14,78%	7,62%	6,91%	5,12%	8,83%

CV: Coeficiente de Variação; QM: Quadrado médio; * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05); ** significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns não significativo (p >=0,05).



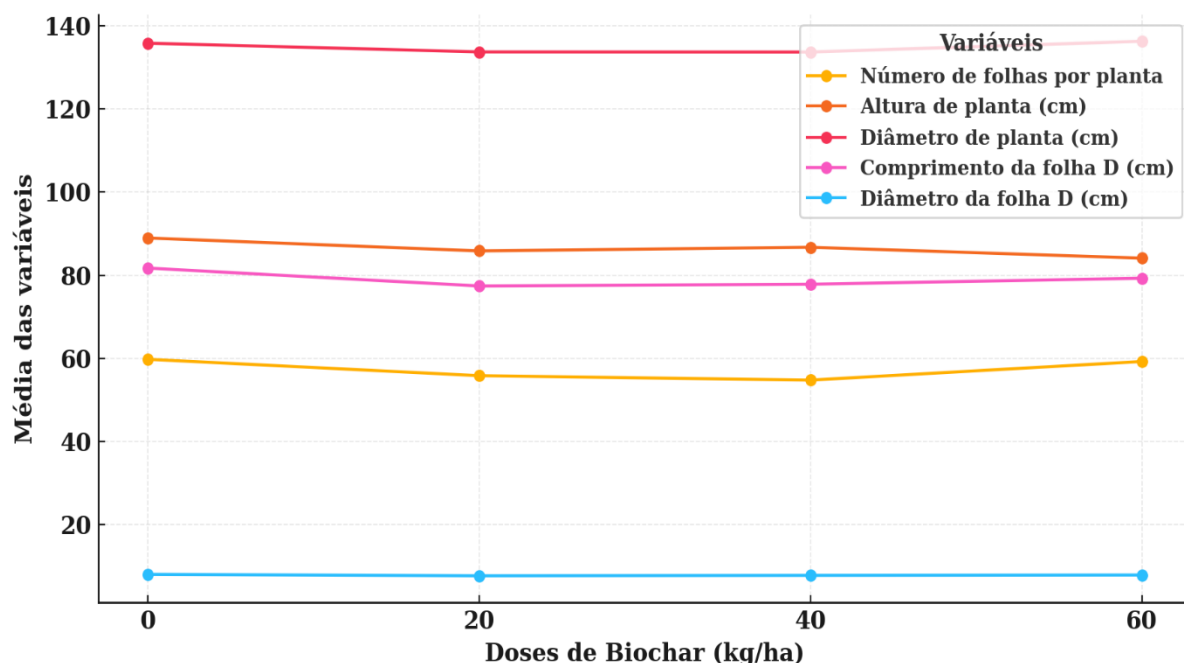


Figura 2- Efeito das diferentes doses (kg/ha) de Biochar nas Variáveis Vegetativas analisadas

A significância para número de folhas por planta (NFP) na ANOVA, sem separação das doses no teste de Tukey, sugere efeito de pequena magnitude e alta variabilidade entre unidades, ou seja, um padrão compatível com os ganhos médios modestos atribuídos ao biochar em muitas condições de campo. Meta-análises indicam aumento médio de produtividade em torno de aproximadamente 10% (ampla variação entre estudos), o que pode não se traduzir em hierarquia clara entre níveis quando a amostragem é limitada e os efeitos são graduais (JEFFERY et al., 2011; BIEDERMAN ; HARPOLE, 2013).

A aplicação de biocarvão influenciou positivamente o desenvolvimento vegetativo do abacaxizeiro ‘BRS Imperial’ (Figura 2). Foram observados incrementos nas variáveis altura da planta, diâmetro da planta, comprimento e diâmetro da folha D, bem como no número de folhas, em resposta ao aumento das doses aplicadas. A dose de 40 t ha⁻¹ destacou-se por promover os maiores valores médios para a maioria das variáveis, indicando um ponto de resposta eficiente.

A partir dessa dose, verificou-se tendência de estabilização ou leve redução nos valores, sugerindo possível efeito de saturação de nutrientes ou alterações no equilíbrio físico-químico do solo, possivelmente relacionadas ao excesso de matéria orgânica carbonizada.

Esses resultados corroboram estudos que apontam o potencial do biocarvão como condicionador de solo, promovendo melhorias na retenção de água, na capacidade de troca catiônica e na disponibilidade de nutrientes (LEHMANN; JOSEPH, 2015; STEINER et al., 2007). Em culturas tropicais, a aplicação de biocarvão em doses adequadas pode favorecer o crescimento vegetativo, refletindo em maior área foliar e capacidade fotossintética, fatores diretamente relacionados à produtividade (ZHANG et al., 2016).



Em solos tropicais altamente intemperizados, o biochar pode elevar pH, aumentar CTC e reduzir Al^{3+} trocável, melhorando a disponibilidade de nutrientes e as condições radiculares, o que explica oscilações positivas, porém discretas, nas variáveis de crescimento (GLASER, LEHMANN ; ZECH, 2002; LEHMANN ; JOSEPH, 2015). Estudos experimentais recentes também mostram atenuação da acidez e de toxicidade por Al após a aplicação, favorecendo crescimento inicial (SHETTY et al., 2020).

A literatura descreve respostas saturantes/quadráticas, isto é, ganhos até certo patamar e, em doses altas, efeito atenuado por imobilização transitória de N, alterações na microbiota e mudanças rápidas de pH; por isso, muitas vezes o ganho prático concentra-se em faixas próximas de 8–20 t ha⁻¹ em solos ácidos (MAJOR et al., 2010; YANG et al., 2024; PREMALATHA et al., 2023)

O comportamento observado sugere que, em solos tropicais de baixa fertilidade, como o Latossolo Amarelo utilizado no presente estudo, doses moderadas de biocarvão podem otimizar o desenvolvimento inicial e o vigor das plantas, enquanto doses excessivas não garantem benefícios adicionais, reforçando a importância da determinação de níveis ótimos de aplicação. Resultados semelhantes foram reportados por Major et al. (2010), que identificaram aumento na biomassa e no rendimento de milho até determinada dose de biocarvão, com estabilização das respostas em níveis mais elevados.

Para abacaxizeiro (*Ananas comosus*), resultados recentes em Acrissolos costeiros mostraram que biocarvão de resíduos de abacaxi aplicado isoladamente ou combinado com composto/NPK aumentou crescimento e rendimento (altura, NFP, massa e dimensões de fruto) em relação ao solo não corrigido, com efeito mais forte nas combinações (Hanyabui et al., 2024). Esses achados sustentam a hipótese de sinergia biocarvão × fertilidade, coerente com respostas agrônomicas modestas quando o biochar atua sozinho em ambientes já nutridos.

Portanto, o uso do biocarvão mostra-se como alternativa promissora e sustentável para o cultivo do abacaxizeiro, especialmente quando se busca aliar produtividade à conservação dos recursos naturais, sendo recomendada a realização de novos estudos para avaliar seus efeitos no longo prazo e em diferentes condições edafoclimáticas.

Entre as doses de biocarvão (0, 20, 40 e 60 t ha⁻¹), não houve diferenças pelo Tukey (5%) para NFP, DP, CD e DD (Figura 2) apenas para NFP a ANOVA indicou efeito global do fator ($p = 0,021$), mas sem separação entre doses no pós-teste, o que sugere variação de baixa amplitude e ausência de hierarquia clara entre níveis em 285 DAP (JEFFERY et al., 2011; LEHMANN; JOSEPH, 2015). Para AP, o efeito isolado do biocarvão também não foi significativo ($p = 0,119$). As médias mostram oscilações discretas entre as doses, sem tendência monotônica, um padrão frequente quando o biocarvão atua sobretudo como condicionador físico-químico (melhora de retenção hídrica e CTC) em solos altamente intemperizados (GLASER; LEHMANN; ZECH, 2002; MAJOR et al., 2010; LEHMANN; JOSEPH, 2015)

Observa-se que as médias de NFP, AP, DP, CD e DD (Figura 3) oscilaram pouco entre



0–60 t ha⁻¹ de biochar, e o teste de Tukey ($\alpha=0,05$) não separou as doses para nenhuma. Esse comportamento confirma que, aos 285 DAT, as diferenças entre níveis foram de baixa amplitude. Mesmo para NFP, a variável em que a ANOVA indicou efeito global—o pós-teste não discriminou níveis, sugerindo que o sinal é sutil e diluído pela variabilidade entre plantas (JEFFERY et al., 2011; BIEDERMAN ; HARPOLE, 2013).

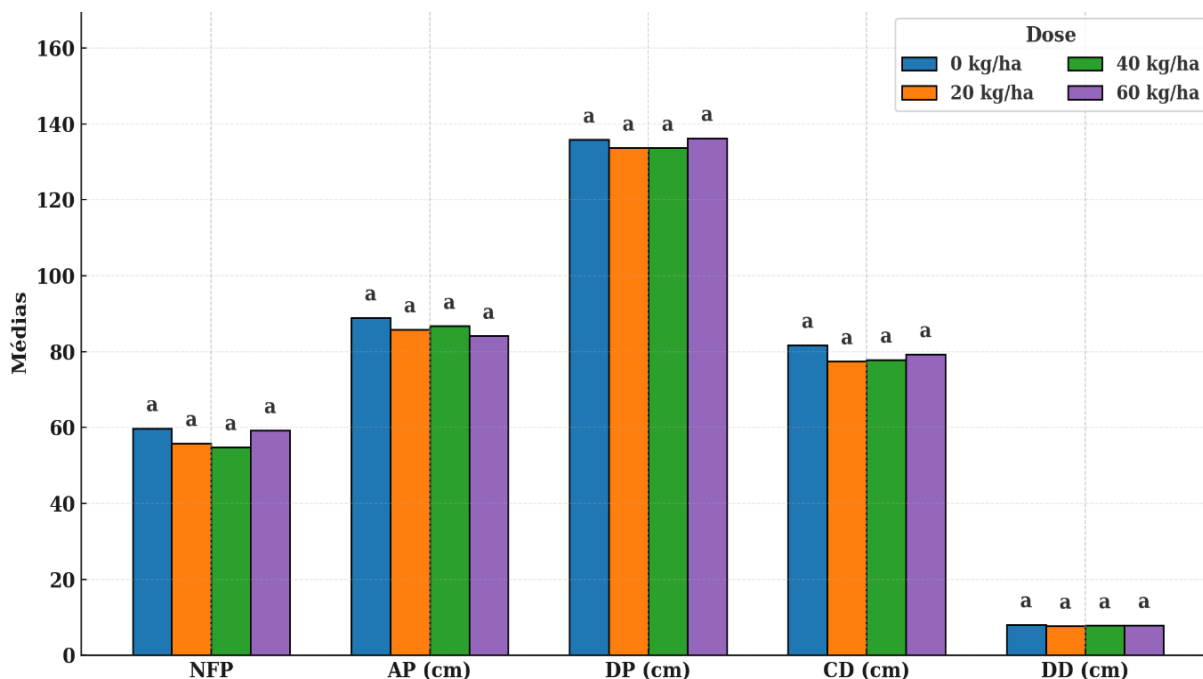


Figura 3- Médias das variáveis vegetativas por dose de biochar em Número de Folhas por Planta - NFP, Altura de Planta - AP, Diâmetro de Planta - DP, Comprimento da Folha D – CD e Diâmetro da Folha D pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Nos Latossolos, o biocarvão apresenta ação predominante como condicionador físico-químico, exercendo influência direta sobre atributos fundamentais da fertilidade. Sua aplicação contribui para a elevação do pH, o que reduz a acidez do solo e melhora a disponibilidade de nutrientes essenciais; promove ainda o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), ampliando a retenção de cátions básicos como Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺; além disso, está associado à redução do alumínio trocável (Al³⁺), minimizando a toxicidade radicular que frequentemente limita o crescimento de plantas em solos tropicais altamente intemperizados (Glaser; Lehmann; Zech, 2002; Lehmann; Joseph, 2015). Esses ajustes, embora relevantes do ponto de vista químico e físico, nem sempre se traduzem em respostas visíveis no crescimento vegetativo imediato, especialmente em situações em que a adubação de base já atende à demanda nutricional inicial da cultura.

De fato, sínteses quantitativas e meta-análises apontam que os efeitos do biocarvão sobre a produtividade agrícola são modestos e variáveis, situando-se em torno de 10% de incremento médio, mas com ampla heterogeneidade entre condições edafoclimáticas e espécies



avaliadas (Jeffery et al., 2011; Biederman; Harpole, 2013). Esse comportamento ajuda a compreender situações em que a análise de variância detecta diferenças globais significativas, mas o teste de comparação de médias (como Tukey) não consegue discriminar hierarquias claras entre doses.

Outro aspecto frequentemente relatado na literatura é o padrão **de** respostas quadráticas ou saturantes: ganhos produtivos ou vegetativos tendem a aumentar até determinado patamar de dose e, a partir daí, estabilizam-se ou até mesmo declinam. Isso pode ocorrer devido à imobilização temporária de nitrogênio, resultante da alta relação C/N do biocarvão, ou pela alcalinização excessiva do solo em aplicações muito elevadas (MAJOR ET AL., 2010; AGEGNEHU ET AL., 2017).

Portanto, é plausível supor que os efeitos discretos observados aos 285 DAP neste estudo representem apenas uma etapa inicial, podendo se manifestar de forma mais consistente em fases posteriores, como durante a indução floral e o enchimento dos frutos — momentos de maior demanda por assimilados e maior sensibilidade do abacaxizeiro às condições de fertilidade (BARTHOLOMEW; PAULL; ROHRBACH, 2018). Nessa perspectiva, o biochar revela-se não apenas como insumo de efeito imediato, mas como estratégia de médio a longo prazo, cujos benefícios plenos podem ser percebidos ao longo de ciclos produtivos sucessivos.

CONCLUSÕES

Aos 285 DAP, as doses de biocarvão avaliadas (0, 20, 40 e 60 t ha⁻¹) não alteraram significativamente AP, DP, CD e DD ($p > 0,05$). Para NFP, houve efeito global na ANOVA ($F = 4,01$; $p = 0,021$), mas sem separação de doses no teste de Tukey, indicando pequeno tamanho de efeito nas condições avaliadas. Em termos práticos, o biocarvão segue promissor como condicionador em Latossolos, com potenciais ganhos de resiliência do sistema; recomenda-se validar em longo prazo, com caracterização do material e inclusão de variáveis produtivas (número e massa de frutos).

Em termos agronômicos, o uso do biochar permanece promissor como alternativa sustentável para solos de baixa fertilidade (especialmente Latossolos), por seu papel como condicionador (pH, CTC, retenção hídrica). Ressalta-se que a literatura frequentemente reporta pontos de resposta eficientes em faixas maiores de dose, não avaliadas neste estudo. Recomenda-se, portanto, validar a tecnologia com doses em t ha⁻¹, caracterização do biocarvão, como pH, cinzas, CTC, área específica, avaliação multitemporal e inclusão de variáveis produtivas (número/massa de frutos) antes de definir recomendações de manejo.

Os resultados deste estudo indicam que as doses de biocarvão aplicadas até a fase vegetativa não resultaram em alterações significativas no crescimento do abacaxizeiro BRS Imperial, exceto por efeito discreto sobre o número de folhas.

Do ponto de vista prático, recomenda-se cautela na adoção imediata em larga escala. Entretanto, o potencial do biocarvão como insumo sustentável permanece promissor, especialmente para agricultores familiares que podem produzi-lo a partir de resíduos agrícolas



locais.

Futuras pesquisas devem contemplar variáveis produtivas (número e massa de frutos), ciclos sucessivos de cultivo, caracterização detalhada do biochar e integração com adubação mineral. Além disso, a tecnologia pode ser enquadrada como contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, alinhando ciência agrônoma e políticas climáticas.

REFERÊNCIAS

- CHENG, C. H.; LEHMANN, J.; ENGELHARDT, D. **Effect of biochar on nutrient leaching in a sandy soil.** *Soil Science Society of America Journal*, v. 70, n. 6, p. 1719–1727, 2006.
- EMBRAPA. **Abacaxi BRS Imperial: resistência ao fusarium, qualidade e sabor.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2020.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- FERREIRA, A. F. et al. **Interação entre biochar e características do solo em Latossolo Amarelo cultivado com frutíferas.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 46, e0220154, 2022.
- GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. **Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review.** *Biology and Fertility of Soils*, v. 35, p. 219–230, 2002.
- GLASER, B. et al. **Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review.** *Biology and Fertility of Soils*, v. 35, p. 219–230, 2002.
- JEFFERY, S. et al. **A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity.** *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 144, p. 175–187, 2011.
- LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation.** 2. ed. London: Routledge, 2015.
- MAJOR, J. et al. **Maize yield and nutrition during four years after biochar application to a Colombian savanna Oxisol.** *Plant and Soil*, v. 333, p. 117–128, 2010.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.
- MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (ed.). **Química e mineralogia do solo: conceitos básicos e aplicações.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. 2 v.
- SILVA, S. O. et al. **Comportamento de híbridos de abacaxi resistentes ao fusário no extremo sul da Bahia.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 56, e02674, 2021.
- STEINER, C. et al. **Long-term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil.** *Plant and Soil*, v. 291, p. 275–290, 2007.
- STEINER, C. et al. **Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil.**



- Plant and Soil, v. 291, p. 275–290, 2007.
- TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- THIES, J. E.; RILLIG, M. C. **Characteristics of biochar: biological properties**. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). **Biochar for Environmental Management**. London: Earthscan, 2009. p. 85–105.
- ZHANG, A. et al. **Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a calcareous loamy soil**. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 228, p. 1–8, 2016.

