

Biochar e fungos micorrízicos no cultivo de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.)

Biochar and mycorrhizal fungi in the cultivation of Anadenanthera colubrina (Vell.) seedlings

Anny Bianca Santos Cruz (ORCID 0000-0002-1350-3702), **Thieres Santos Almeida** (ORCID 0000-0001-7371-8070),
Camilla Caroline Fontes Nascimento (ORCID 0000-0001-5140-8573), **Milton Marques Fernandes** *(ORCID 0000-0002-9394-0020)

Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, SE, Brasil. *Autor para correspondência: miltonmf@gmail.com

Submissão: 30 de Junho, 2024 | Aceite: 16 de Outubro, 2024

RESUMO

O objetivo da pesquisa foi analisar o desenvolvimento de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, inoculadas com fungos micorrízicos e diferentes doses de biochar de lodo de esgoto em viveiro. O experimento foi realizado em viveiro florestal, em delineamento inteiramente casualizado. Estudou-se as diferenças estatísticas entre dosagens crescentes de biochar de lodo de esgoto e de fungos micorrízicos. Foram determinados os parâmetros de crescimento e ecofisiológicos aos três meses das mudas de *A. colubrina*, e os resultados foram submetidos a análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade. A dosagem com 10% de biochar de lodo de esgoto sem fungos micorrízicos foi a melhor formulação para a produção de mudas de *Anadenanthera colubrina*. O uso de maiores dosagens de biochar de lodo de esgoto aumentou o teor de P no substrato, o que inibiu a atuação dos fungos micorrízicos em favorecer as mudas de *Anadenanthera colubrina* ter um melhor desenvolvimento dos parâmetros morfológicos e ecofisiológicos. A inoculação de fungos micorrízicos em mudas de *Anadenanthera colubrina* com maiores dosagens de biochar de lodo de esgoto, o alto teor de P pode fazer com que os fungos micorrízicos tenham papel de parasitas ao invés de mutualistas, absorvendo carbono da planta, mas não compensando a mesma, prejudicando o desenvolvimento das mudas e desempenho ecofisiológico.

PALAVRAS-CHAVE: Ecofisiologia. Restauração florestal. Resíduos sanitários. Simbiose micorrízica.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the development of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan seedlings, inoculated with mycorrhizal fungi and sewage sludge biochar in a nursery. The experiment was carried out in a forest nursery, in a completely randomized design. Statistical differences between increasing dosages of sewage sludge biochar and mycorrhizal fungi were studied. The three-month growth and ecophysiological parameters of *A. colubrina* seedlings were determined, and the results were subjected to analysis of variance and Tukey's test at 5% probability. The dosage with 10% sewage sludge biochar without mycorrhizal fungi was the best formulation for the production of *Anadenanthera colubrina* seedlings. The use of higher dosages of sewage sludge biochar increased the P content in the substrate, which inhibited the action of mycorrhizal fungi in favor of *Anadenanthera colubrina* seedlings having a better development of morphological and ecophysiological parameters. The inoculation of mycorrhizal fungi in *Anadenanthera colubrina* seedlings with higher dosages of sewage sludge biochar, the high P content can cause mycorrhizal fungi to play a parasitic role instead of mutualistic, absorbing carbon from the plant, but not compensating it, impairing the development of the seedlings and ecophysiological performance.

KEYWORDS: Ecophysiology. Forest Restoration. Sanitary Waste. Mycorrhizal Symbiosis.

Publisher's Note: UDESC stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

INTRODUÇÃO

Ecossistemas como Caatinga e Mata Atlântica têm sido desmatados constantemente nos últimos quatro anos (MAPBIOMAS 2022). A restauração de áreas degradadas é o método que auxilia no retorno a homeostase dos ecossistemas e consequentemente é uma estratégia de mitigação das mudanças climáticas (ZHANG et al. 2021). Estamos na década da restauração, a qual, em consenso com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) tem como intuito restaurar áreas degradadas e vulneráveis até 2030 (ONU 2023). Diversas técnicas podem ser utilizadas na restauração de ambientes degradados, à exemplo de plantio de mudas, regeneração natural, banco de sementes, semeadura direta, entre outros (SOARES 2010). O plantio de mudas é uma das técnicas mais utilizadas, porém apesar da eficácia, é um método relativamente caro, mas, existem formas que auxiliem no barateamento.

O melhor custo benefício futuro para produção de mudas é utilizar espécies pioneiras, nativas e de rápido crescimento quando se pretende formar um dossel o mais rápido possível (PIÑA-RODRIGUES et al. 1997). Além disso, utilizar substratos alternativos pode contribuir com o barateamento da produção (SANTOS et al. 2021, CANTARELLI et al. 2021, PRISA & CARO 2023). Assim, o biochar ou, também conhecido como biocarvão, proporciona retenção de água e maior quantidade de nutrientes, sendo assim utilizado na correção do solo, como substrato alternativo, entre outros (IBI 2009). Os benefícios em larga escala da utilização do biochar são a redução da intensificação do efeito estufa e redução da emissão de carbono (XU et al. 2016). Para as mudas, os benefícios do biochar estão relacionados ao melhor enraizamento e nutrição das plantas, já que ele consegue proporcionar aeração, umidade e nutrientes provendo maior crescimento à planta (REZENDE et al. 2016, BATISTA 2016).

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS 2022), aproximadamente 100 milhões de pessoas no Brasil ainda possuem esgoto a céu aberto, sem a possibilidade de reutilização. Com a obrigatoriedade do recolhimento de esgotos, as estações de tratamento (ETE) produzirão maior quantidade de lodo de esgoto, aumentando a necessidade de tratamento e descarte adequado. O aproveitamento do lodo de esgoto na agricultura é uma estratégia positiva pois o resíduo é rico em matéria orgânica e nutrientes como P e K.

Ainda, para melhor desenvolvimento das mudas, caso a espécie possua associação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) é importante implementá-lo, visto que eles têm a função de simbiose com a planta auxiliando na disponibilidade de nutrientes, assim a espécie consegue maior desenvolvimento radicular favorecendo a sobrevivência durante a produção das mudas e em campo, contribuindo ainda com composição do solo e fixação de carbono (FERNANDES et al. 2023, BRAGHIROLI et al. 2012).

Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan pertence à família Fabaceae e é conhecida popularmente como angico, é uma espécie pioneira e nativa do Brasil. Ocorrendo nos ecossistemas Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado (JBRJ 2023). O angico apresenta rápida germinação e desenvolvimento, por isso normalmente é utilizado para restauração de ambientes degradados (MAGALHÃES et al. 2021,

RODRIGUES et al. 2007). Essa espécie é importante também devido ao seu potencial farmacológico e madeireiro para construção civil (DELICES et al. 2022, CARLOS et al. 2021). Neste contexto, o objetivo desse estudo foi avaliar o desenvolvimento de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, inoculadas com fungos micorrízicos em diferentes doses de biochar de lodo de esgoto em casa de vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em viveiro florestal no Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe, em São Cristóvão, SE de dezembro a maio de 2023 (Figura 1). Foram produzidas mudas de *Anadenanthera colubrina*, em sacos de polietileno preto de 500 cm³. Os recipientes foram colocados em bancadas de madeira a 1,20 m de altura, com sombreamento de 50% e irrigação diária, por microaspersão com taxa diária de aplicação de 25 minutos, ajustada conforme as condições microclimáticas.

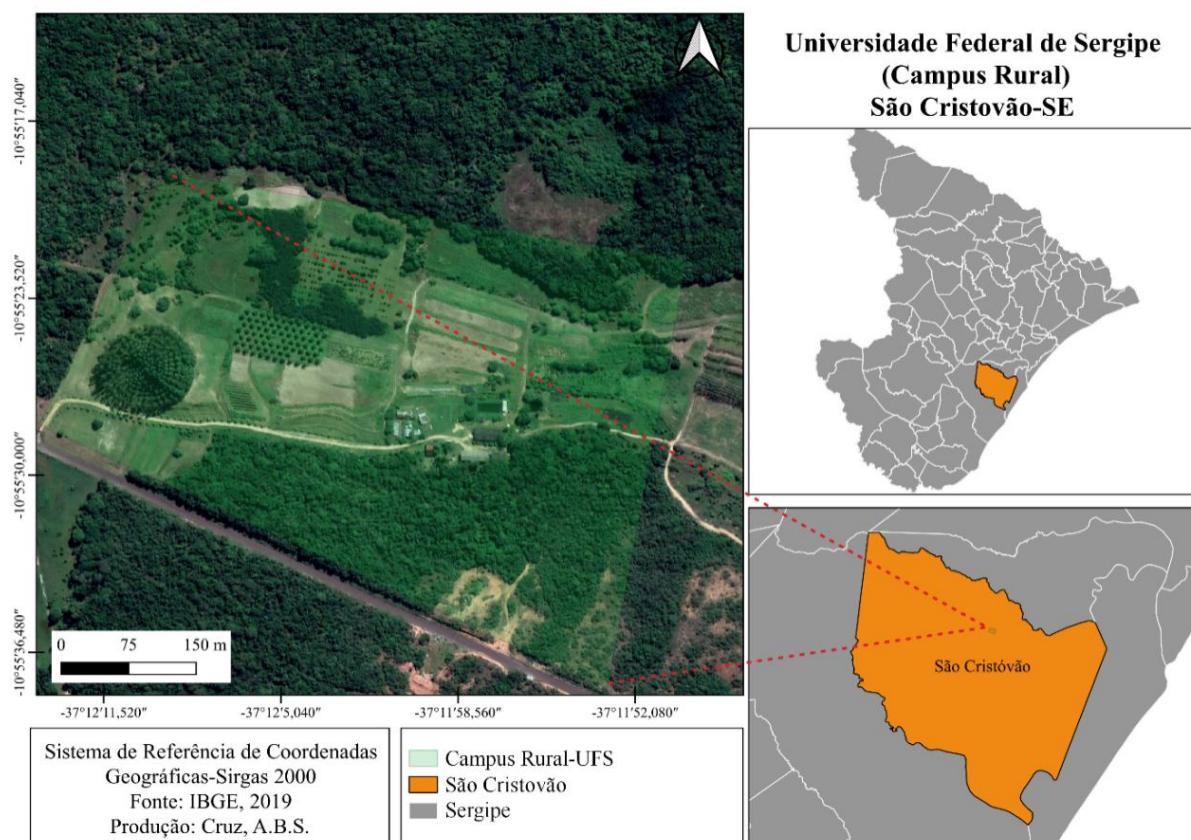


Figura 1. Mapa de localização da Universidade Federal de Sergipe (Campus Rural), São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

Figure 1. Location map of the Federal University of Sergipe (Rural Campus), São Cristóvão, Sergipe, Brazil.

As sementes de *A. colubrina* (angico) foram semeadas em substrato preparado para as mudas, cinco sementes em saquinhos de polietileno, em seguida foi realizado o desbaste restando apenas uma plântula em cada saquinho, as mudas foram mantidas três meses em estufa para as avaliações. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Os fungos micorrízicos arbusculares utilizados foram *Gigaspora margarita* Becker & Hall (CNPAB 001) e *Glomus clarum* Nicol. & Gerd.

(CNPAB 005). No delineamento, foi realizada a presença ou ausência de fungos nas porcentagens 10, 20 e 30% de biochar de lodo de esgoto (Tabela 1). Cada tratamento teve 10 repetições totalizando 70 mudas. Cada saquinho continha uma proporção de 3:1 de areia lavada e areia grossa com as porcentagens do substrato de fonte orgânica (Biochar).

Tabela 1. Tratamentos com as diferentes doses de biochar e presença ou ausência de fungos micorrízicos.

Table 1. Treatments with different doses of biochar and presence or absence of mycorrhizal fungi.

Tratamentos		
Tratamento	Dosagem de Biochar	Inoculação de Fungos micorrízicos
10%F	10% BCLE	Com fungos micorrízicos
20%F	20% BCLE	Com fungos micorrízicos
30%F	30% BCLE	Com fungos micorrízicos
10%	10% BCLE	Sem fungos micorrízicos
20%	20% BCLE	Sem fungos micorrízicos
30%	30% BCLE	Sem fungos micorrízicos
0%	0%	Sem fungos micorrízicos

BCLE- biochar de lodo de esgoto.

Foram avaliadas também as seguintes propriedades químicas do solo dos substratos: pH da água na proporção de 1:2,5; fósforo e potássio foram extraídos com solução de Mehlich¹ (HCl 0,05 mol L⁻¹, H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹); cálcio, magnésio e alumínio por extrator KCl¹ mol L⁻¹ e determinação volumétrica de Al³⁺ com solução diluída de NaOH (0,025 mol L⁻¹). A determinação do teor de carbono orgânico total (C_{org}) foi determinada segundo o método de Walkley Black (Tabela 2).

Tabela 2. Análise química dos substratos utilizados.

Table 2. Chemical analysis of the substrates used.

Tratamentos	pH H ₂ O	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	Na	K	P	N	C _{org}	C/N
-----cmolc dm ⁻³ -----										
0%	6,25	0,23	0,09	0,08	2,4	2,7	1,4	0,17	0,8	47,0
10%	7,63	3,23	2,36	0,08	144	66,1	418	0,19	0,16	8,4
20%	7,49	5,15	3,72	0,08	276	123	626	0,19	0,62	3,2
30%	7,45	6,71	4,77	0,08	475	189	750	0,19	1,85	97,3

O biochar utilizado nessa pesquisa foi obtido por meio da pirólise lenta, onde o substrato lodo de esgoto foi colocado em altas temperaturas em um reator artesanal com média de 500-600 °C durante três horas, alcançando assim um biocarvão sólido para ser utilizado como substrato (ELKHALIFA et al. 2019). A preparação do biochar realizou-se no viveiro da Universidade Federal de Sergipe (UFS), campus São Cristóvão, SE.

Os tratamentos foram avaliados durante três meses em casa de vegetação. As avaliações dos parâmetros de desenvolvimento das mudas foram ao final do experimento, nas quais avaliou-se: altura (com o auxílio de uma trena foi medido do final do caule até a última folha), diâmetro do caule ao nível do solo (DNS) (com o auxílio de um paquímetro) e a contabilização do número de folhas.

A fluorescência transitória da clorofila foi analisada em folhas totalmente expandidas previamente adaptadas ao escuro por 30 minutos, com auxílio de um fluorímetro não modulado (OS-30P; OptiSciences Inc., Hudson, EUA). Foram adquiridos os estados transitórios da clorofila sob iluminação máxima de 3.000 μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por uma luz actínica ($\lambda=660$ nm) por 1 segundo; a qual foi aplicada homogeneamente à folha (DINIS et al. 2016).

A cinética de fluorescência rápida, que é a passagem da fluorescência inicial (F_0) para a fluorescência máxima (F_m), foi medida pelas emissões descritas na curva OJIP, em que $O \cong F_0$ (50 μs), J (2ms), I (30ms) e $P \cong F_m$ (máxima intensidade de fluorescência); o tempo para a emissão máxima de fluorescência e a área acima da curva OJIP também foi avaliada (CHEN et al. 2016, STIRBET et al. 2018, STRASSER et al. 2010). As medidas foram realizadas em três mudas de cada tratamento em casa de vegetação.

Os dados de altura, diâmetro do caule ao nível do solo, número de folhas e dados de fluorescência foram submetidos a uma análise de variância e as diferenças significativas foram comparadas com teste de Tukey ao nível de significância de 5%, a análise foi realizada no programa R (R CORE TEAM 2023).

Os dados de fluorescência, altura, diâmetro e número de folhas foram submetidos a análise estatística de duas formas. Primeiro as análises foram realizadas entre todos os tratamentos. Depois foi realizada uma análise estatística comparando na mesma dosagem as mudas com fungos micorrízicos e sem.

RESULTADOS

Em relação as mudas produzidas com lodo de esgoto, houve efeitos significativos em relação à interação entre as diferentes doses de lodo de esgoto e os fungos micorrízicos em todos os parâmetros testados (Tabela 3).

Tabela 3. Dados de altura, DNS e número de folhas do substrato biochar de lodo de esgoto em casa de vegetação. *Conc: Concentração.

Table 3. Height, DNS and leaf number data of sewage sludge biochar substrate in greenhouse. *Conc: Concentration.

Lodo	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Altura					
Conc	3	61.0	20.32	1.725	0.1726
Fungo	1	49.7	49.72	4.219	0.0447
Conc:fungo	2	82.1	41.05	3.483	0.0376
Residuals	55	648.2	11.79		
DNS					
Concentração	3	0.278	0.0927	0.651	0.5855
Fungo	1	0.118	0.1184	0.832	0.3656
Conc:fungo	2	0.955	0.4776	3.357	0.0421
Residuals	55	7.825	0.1423		
Nº de Folhas					
Conc	3	21.0	7.01	1.140	0.34093
Fungo	1	13.0	13.00	2.114	0.15168
Conc:fungo	2	124.6	62.29	10.126	0.00018
Residuals	55	338.3	6.15		

Ao comparar o substrato biochar de lodo de esgoto em relação as diferentes doses e presença e ausência de fungos não houveram diferenças significativas na qualidade das mudas de *Anadenanthera colubrina*, exceto no tratamento com 10% de biochar com FMA, o qual reduziu significativamente o número de folhas e a altura e 20% de biochar com FMA que também reduziu a altura (Figura 2).

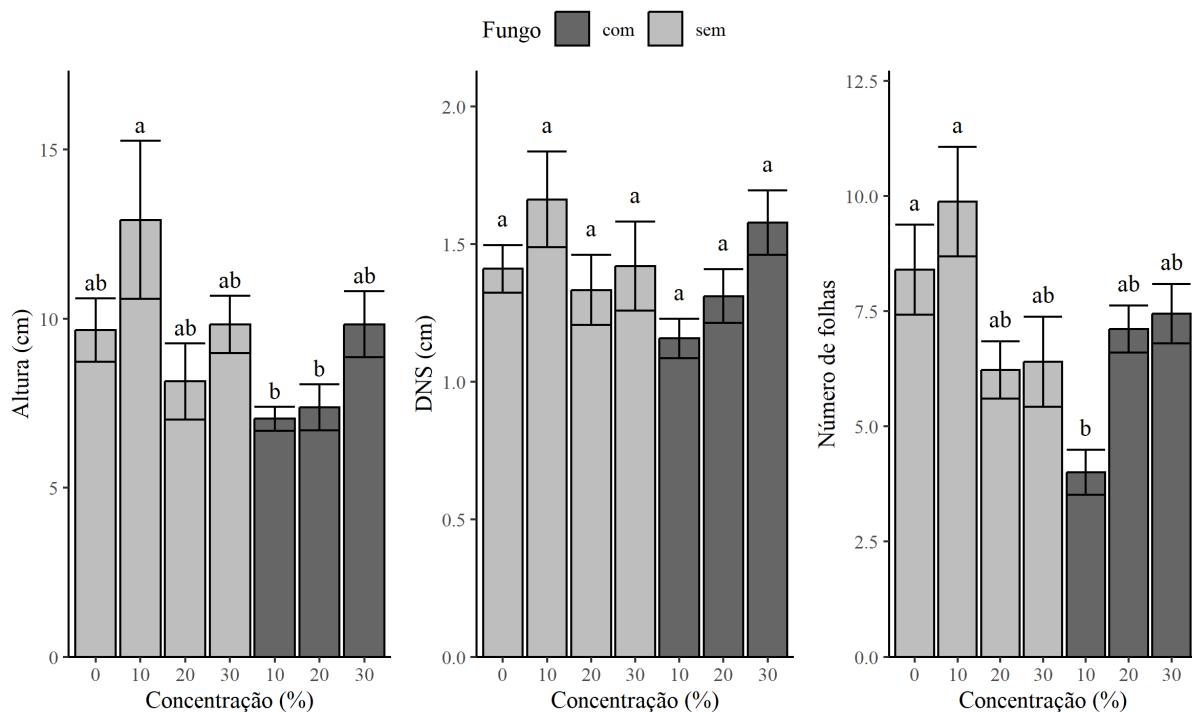


Figura 2. Gráfico correspondente à altura, DNS e número de folhas do substrato biochar de lodo de esgoto em casa de vegetação.

Figure 2. Graph corresponding to the height, DNS and number of leaves of the sewage sludge biochar substrate in a greenhouse.

Observa-se que o aumento na dosagem de biochar não promoveu um aumento nos parâmetros do teste OJIP nas mudas. No entanto quando se utiliza o biochar com a inoculação de fungos micorrízicos os parâmetros do teste OJIP foram influenciados ($p \leq 0,05$) (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4. Parâmetros de OJIP da espécie *Anadenanthera colubrina* em casa de vegetação, com as diferentes doses de biochar e presença ou ausência de fungos micorrízicos.

Table 4. OJIP parameters of the species *Anadenanthera colubrina* in a greenhouse, with different doses of biochar and presence or absence of mycorrhizal fungi.

Parâmetros	0%	10%	20%	30%	10%F	20%F	30%F
TR0/ABS	77,56a	72,70ab	58,90b	72,63ab	54,73ab	58,90b	70,25ab
ET0/ABS	51,51a	47,33ab	38,2b	44,88ab	34,59b	35,87a	42,17ab
ET0/RC	7,27ab	8,05a	8,15a	8,06a	11,09a	8,10b	6,82b
TR0/RC	10,99ab	12,45a	12,72a	13,16a	17,87a	13,41b	11,37b
DI0/RC	31,84bc	52,93b	87,65a	51,08b	170,78a	98,75b	53,46b
ABS/CSO	18,80bc	25,90ab	40,50a	29,63ab	49,30a	40,67b	27,43c
TR0/CSO	14,59b	18,31ab	24,04ab	21,48a	24,71a	23,18a	18,61b
ET0/CSO	9,70bc	11,85ab	15,41a	13,25ab	15,27a	13,92b	11,13b
RE0/CSO	42,27bc	66,11ab	104,57a	74,98ab	105,88a	83,85b	66,85b

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados mostram que os tratamentos 10%F, 20%F e 30%F foram superiores a 0% em relação aos parâmetros ETO/RC, TRO/RC, DIO/RC, ABS/CSO, TRO/CSO, ETO/CSO e REO/CSO (Tabelas 4 e 5). Destacando que o tratamento 10%F foi superior aos demais tratamentos com biochar de lodo de esgoto e inoculados com fungos micorrízicos e a 0% de biochar de lodo de esgoto.

Tabela 5. Parâmetros de OJIP e suas respectivas definições.

Table 5. OJIP parameters and their respective definitions.

Parâmetros	Definição
TR0/ABS	Rendimento quântico máximo da fotoquímica primária do PSII.
ET0/ABS	Rendimento quântico do transporte de elétrons de QA para PQ.
ET0/RC	Fluxo ou transporte de elétrons (ET) transferidos de QA- para PQ pela atividade dos centros de reação PSII.
TR0/RC	O fluxo máximo de elétrons excitados aprisionados pelos centros de reação ativos no PSII.
DIO/RC	Fluxo de energia dissipada em outros processos não fotoquímicos pelos centros de reação ativos no PSII.
ABS/CS0	Fluxo de fôtons absorvidos (ABS) por seção transversal excitada de PSII (CS) da fluorescência inicial.
TR0/CS0	Fluxo máximo de elétrons energizados aprisionados pela seção transversal do PSII na fluorescência inicial;
ET0/CS0	Fluxo de elétrons de QA- para PQ pela seção transversal de PSII na fluorescência inicial.
RE0/CS0	Fluxo de transporte de elétrons para aceitadores PSI por seção transversal.
ABS/CS0	Fluxo de fôtons absorvidos (ABS) por seção transversal excitada de PSII (CS) da fluorescência inicial.
ET0/CS0	Fluxo de elétrons de QA- para PQ pela seção transversal de PSII na fluorescência inicial.

A avaliação do teste OJIP comparando a mesma dosagem de biochar com ou sem fungos micorrízicos demonstrou que somente na dosagem de 10% houve influência significativa da inoculação ($p \leq 0,05$). Com exceção do parâmetro REO/CSO que apresentou diferenças significativas, onde o tratamento 20% foi superior a 20%F (Tabelas 4 e 5). O teste OJIP mostrou que a inoculação de fungos micorrízicos na dosagem de 10% de biochar de lodo de esgoto promoveu o aumento dos parâmetros ETO/RC, TRO/RC, ABS/CSO, TRO/CSO, ETO/CSO, REO/CSO e DIO/RC em relação ao tratamento somente com 10% de biochar de lodo de esgoto (Tabelas 5 e 6).

Tabela 6. Parâmetros de OJIP da espécie *Anadenanthera colubrina* em casa de vegetação, com doses de biochar e presença ou ausência de fungos micorrízicos.

Table 6. OJIP parameters of the species *Anadenanthera colubrina* in a greenhouse, with doses of biochar and presence or absence of mycorrhizal fungi.*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Parâmetros	10%	10%F	20%	20%F	30%	30%F
TR0/ABS	72,70a	54,73b	58,90a	58,90a	72,63a	70,25a
ET0/ABS	47,33a	34,59b	38,2a	35,87a	44,88a	42,17a
ET0/RC	8,05b	11,09a	8,15a	8,10a	8,06a	6,82a
TR0/RC	12,45b	17,87a	12,72a	13,41a	13,16a	11,37a
ABS/CS0	25,90b	49,30a	40,50a	40,67a	29,63a	27,43a
TR0/CS0	18,31b	24,71a	24,04a	23,18a	21,48a	18,61a
ET0/CS0	11,85b	15,27a	15,41a	13,92a	13,25a	11,13a
RE0/CS0	66,11b	105,88a	104,57a	83,85b	74,98a	66,85a
DIO/RC	52,93b	170,78a	87,65a	98,75a	51,08a	53,46a

DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que uma dosagem de 10% de biochar de lodo de esgoto é suficiente para produzir mudas de *Anadenanthera colubrina* com maior altura, diâmetro e número de folhas. E que maiores dosagens de biochar de lodo de esgoto reduzem a altura, diâmetro e número de folhas. Maiores doses de biochar de lodo de esgoto pode estar aumentando os teores de metais pesados, o que prejudica o desenvolvimento das mudas de *Anadenanthera colubrina*.

Isto pode estar ocorrendo também em função dos baixos requerimentos nutricionais da *Anadenanthera colubrina* (GONÇALVES et al. 2012). O que favorece o desenvolvimento das mudas da planta em substratos com menor fertilidade, fator que permite à adaptabilidade dessa espécie a diferentes regiões (LORENZI 2008).

O substrato com 20% de biochar de lodo de esgoto apresenta 626 mg dm⁻³ de P e o com 30% de biochar de lodo de esgoto 750 mg dm⁻³ de P. A demanda e a eficiência de uso de nutrientes e a concentração de P no solo ou substrato são os principais preditores das respostas da altura das plantas e do diâmetro da base do caule à inoculação com fungos micorrízicos (FERNANDES et al. 2021). Altos valores de P em substratos de mudas pode causar decréscimo em medidas de crescimento de plantas micorrizadas, quando comparadas a plantas sem fungos micorrízicos (PEDONE-BONFIM et al. 2018).

Devido a maior disponibilidade de P no meio ele se torna mais fácil de ser absorvido pelas mudas, inibindo assim a colonização micorrízica, entretanto, mesmo em baixas taxas de colonização, os fungos micorrízicos podem ter exigido um maior custo de carbono, que sem a compensação, pode causar redução nas medidas de crescimento (PENG et al. 1993). Por exemplo, acredita-se que fungos micorrízicos sejam mutualistas que aumentam o desempenho de plantas, contudo, plantas associadas a micorrizas podem ocupar várias posições ao longo do parasitismo até o mutualismo (TAIZ et al. 2017).

Houve um aumento na absorção e no fluxo de transportes de elétrons nas mudas de *Anadenanthera colubrina* no tratamento 10%F. Portanto, este tratamento as mudas de *Anadenanthera colubrina* estão realizando a fotossíntese de forma mais eficiente. Porém, houve uma alta dissipação de energia, o que pode ter provocado uma redução na altura e no número de folhas em comparação ao tratamento com 10% de biochar de lodo de esgoto.

CONCLUSÃO

A dosagem com 10% de biochar de lodo de esgoto sem fungos micorrízicos foi a melhor formulação para a produção de mudas de *Anadenanthera colubrina*.

O uso de maiores dosagens de biochar de lodo de esgoto aumentou o teor de P no substrato, o que inibiu a atuação dos fungos micorrízicos em favorecer as mudas de *Anadenanthera colubrina* ter um melhor desenvolvimento dos parâmetros morfológicos e ecofisiológicos.

A inoculação de fungos micorrízicos em mudas de *Anadenanthera colubrina* com maiores dosagens de biochar de lodo de esgoto, o alto teor de P pode fazer com que os fungos micorrízicos tenham papel de parasitas ao invés de mutualistas, absorvendo carbono da planta, mas não compensando a mesma, prejudicando o desenvolvimento

das mudas e desempenho ecofisiológico.

CONTRIBUIÇÕES DO AUTOR

Conceitualização, metodologia e análise formal, Cruz, A.B.S., e Fernandes, M.M.; software e validação, Almeida, T.S; investigação, Cruz, A.B.S., e Fernandes, M.M; recursos e curadoria de dados, Cruz, A.B.S., e Fernandes, M.M; redação - preparação do rascunho original, Cruz, A.B.S., Fernandes, M.M., Almeida, T.S., e Nascimento, C.C.F; redação - revisão e edição, Cruz, A.B.S., Fernandes, M.M., Almeida, T.S., e Nascimento, C.C.F. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

FINANCIAMENTO

Este trabalho foi apoiado por Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

DECLARAÇÃO DO CONSELHO DE REVISÃO INSTITUCIONAL

Não aplicável a estudos que não envolvam humanos ou animais.

DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO INFORMADO

Não aplicável porque este estudo não envolveu humanos.

DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS

Os dados podem ser disponibilizados mediante solicitação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a bolsa de mestrado do primeiro autor do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA/UFS).

CONFLITOS DE INTERESSE

Não há conflito de interesses.

REFERÊNCIAS

- BATISTA NS. 2016. Diversificação de cultivos de hortaliças associada ao uso de insumos para a fertilidade do solo, em sistema orgânico de produção. Dissertação de mestrado (Mestrado profissional em Agricultura Orgânica). Seropédica:UFRJ. 68p.
- BRAGHIROLI FL et al. 2012. Fungos micorrízicos arbusculares na recuperação de florestas ciliares e fixação de carbono no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 36: 733-744.
- CANTARELLI EB et al. 2021. Desenvolvimento inicial de mudas de *Tabebuia impetiginosa* submetidas a diferentes tipos de substratos. Em: OLIVEIRA RJ (Ed.). Silvicultura e manejo florestal: técnicas de utilização e conservação da natureza. São Paulo: Cientifica Digital. p. 146-155.
- CARLOS LKC et al. 2021. Durabilidade natural de cinco espécies madeireiras da Caatinga em ensaio de deterioração em campo aberto e natural. Advances in

- Forestry Science 8: 1527-1534.
- CHEN S et al. 2016. Classification and characteristics of heat tolerance in *Ageratina adenophora* populations using fast chlorophyll a fluorescence rise O-J-I-P. Environmental and Experimental Botany 122: 126-140.
- DELICES M et al. 2022. *Anadenanthera colubrina* (Vell) Brenan: Ethnobotanical, phytochemical, pharmacological and toxicological aspects. Journal of Ethnopharmacology 300: 1-17.
- DINIS LT et al. 2016. Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. Journal Plant Physiology 191: 45-53.
- ELKHALIFA S et al. 2019. Food waste to biochar through pyrolysis: A review. Resources, Conservation & Recycling 144: 310-320.
- FERNANDES MM et al. 2023. Initial growth and ecophysiological aspects of forest legumes inoculated with mycorrhizal fungi in areas degraded by mining. Ciência Florestal 33: 1-16.
- FERNANDES MM et al. 2021. The inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improved ecophysiological and growth parameters of *Schinus terebinthifolius* and *Caesalpinia ferrea* in degraded mining sites. Environmental Challenges 4: 23-38.
- GONÇALVES E et al. 2012. Nutrição de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P, K, Ca e Mg. Revista Árvore 36: 219-228.
- IBI. 2009. Biochar for Environmental Management. London: Johannes Lehmann and Stephen Joseph.
- JBRJ. 2023. Flora e Funga do Brasil. Rio de Janeiro: REFLORA.
- LORENZI H. 2008. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 5.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum.
- MAPBIOMAS. 2022. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 15 Jan. 2024.
- MAGALHÃES PSC et al. 2021. Morfometria de frutos e sementes e métodos para superação da dormência de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (Fabaceae). Research, Society and Development 10: 1-13.
- ONU. 2023. Organização das Nações Unidas. Declaração Universal dos. Direitos Humanos da ONU. Disponível em: <<http://www.onu-brasil.org.br/>>. Acesso em: 16 Jan. 2024.
- PEDONE-BONFIM MVL et al. 2018. Mycorrhizal benefits on native plants of the Caatinga, a Brazilian dry tropical forest. Symbiosis 74: 79-88.
- PENG S et al. 1993. Growth depression in mycorrhizal citrus at high-phosphorus supply (analysis of carbon costs). Plant physiology 101: 1063-1071.
- PIÑA-RODRIGUES FCM et al. 1997. Sistemas de plantio adensado para a revegetação de áreas degradadas da Mata Atlântica: bases ecológicas e comparações de custo-benefício com o sistema tradicional. Floresta e Ambiente 4: 30-41.
- PRISA D & CARO S. 2023. Alternative substrates in the cultivation of ornamental and vegetable plants. Biological and Pharmaceutical Sciences 24: 209-220.

- R CORE TEAM. 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 16 Jan. 2024.
- REZENDE FA et al. 2016. Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 51: 1449-1456.
- RODRIGUES ACDC et al. 2007. Efeito do substrato e luminosidade na germinação de *Anadenanthera colubrina* (Fabaceae, Mimosoideae). *Revista Árvore* 31: 187-193.
- SANTOS AMM et al. 2021. Substratos alternativos para a produção de mudas de tomate e berinjela. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 16: 206-212.
- SNIS. 2022. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2022/03/estudo-aponta-que-falta-de-saneamento-prejudica-mais-de-130-milhoes-de-brasileiros>>. Acesso em: 03 Jan. 2024.
- SOARES SMP. 2010. Técnicas de restauração de áreas degradadas. Juiz de Fora: UFJF.
- STIRBET A et al. 2018. Chlorophyll a fluorescence induction: can just a one-second measurement be used to quantify abiotic stress responses? *Photosynthetica* 56: 86–104.
- STRASSER RJ et al. 2010. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820 nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. *Biochim. Biophys. Acta Bioenergy* 1797: 1313–1326.
- TAIZ L et al. 2017. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 1. Ed. Porto Alegre: Artmed Editora.
- XU X et al. 2016. Chemical transformation of CO₂ during its capture by waste biomass derived biochars. *Environmental pollution* 213: 533-540.
- ZHANG J et al. 2021. Improve forest restoration initiatives to meet Sustainable Development Goal 15. *Nature Ecology & Evolution* 5: 10-13.