



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E FLORESTAIS
CURSO DE AGRONOMIA

Isaque de Oliveira Leite

Cultivo do feijão-caupi em dois solos com aplicação do biochar e extrato pirolenhoso

MOSSORÓ

2023

Isaque de Oliveira Leite

Cultivo do feijão-caupi em dois solos com aplicação do biochar e extrato pirolenhoso

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Neyton de Oliveira Miranda

Co-orientador: Prof.^aDr.^a Danielle da Silva Oliveira Martins

MOSSORÓ

2023

Isaque de Oliveira Leite

Cultivo do feijão-caupi em dois solos com aplicação do biochar e extrato pirolenhoso

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Defendida em: 13 / 10 / 2023.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
DANIELLE DA SILVA OLIVEIRA MARTINS
Data: 20/10/2023 08:49:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Danielle da Silva Oliveira Martins
Presidente



Documento assinado digitalmente
MARCELO TAVARES GURGEL
Data: 20/10/2023 10:03:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr Marcelo Tavares Gurgel
Membro Examinador



Documento assinado digitalmente
RICARDO ANDRE RODRIGUES FILHO
Data: 20/10/2023 09:49:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

MSc. Ricardo André Rodrigues Filho
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

A Deus Pai, agradeço por toda sua longanimidade e benignidade, que diante das minhas falhas e fraquezas, vi o seu amor se aperfeiçoando em cada detalhe da minha vida. Nos momentos de dificuldades o Senhor estava cuidando de tudo para que eu não desistisse dos meus sonhos e, sei que, os seus sonhos e planos são maiores e melhores que os meus. Quando diante das adversidades, mesmo sem entender os motivos e as consequências de muitas coisas que aconteceram em todo o percurso até aqui, vejo agora que o Senhor sempre foi justo, me deu paz e alegrias.

Aos meus pais, Luiz Raimundo de Oliveira e Maria Goretti Leite de Oliveira, por não medirem esforços em me ajudar. Sinto-me privilegiado em tê-los ao meu lado, dando suporte, conselhos e orientações, sabendo que todos os gestos, atitudes e as vezes palavras duras de se ouvir dos senhores são demonstrações de amor na minha vida. Agradeço também, aos meus irmãos Ana Paula, Deivison, Sara e Rebeca que sempre me apoiaram e ajudaram quando precisei.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), por toda oportunidade de aprendizado acadêmico e de pesquisas que a instituição oferece em diversas áreas.

Ao meu orientador Neyton de Oliveira Miranda, professor dedicado e exemplar, que me ensinou muito, tanto academicamente como também na linha de pesquisa. Além da relação professor e aluno, sei que tenho um amigo com quem eu posso contar.

À banca examinadora, professora Danielle da Silva Oliveira Martins, professor Marcelo Tavares Gurgel, professor Miguel Ferreira Neto. Profissionais que respeito e admiro.

A professora Jeane Cruz Portela, que mesmo sem saber me motivou a continuar em um momento a qual pensei em desistir da graduação. Minha eterna gratidão.

Aos amigos e profissionais, da graduação e dos laboratórios LASAP e LASAPSA, que fizeram parte dessa trajetória. Seria difícil citar cada um aqui, mas, não esquecerei dos momentos de trabalhos e de descontração que passamos.

Deus Pai abençoe a todos!

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L533c Leite, Isaque.
Cultivo do feijão-caupi em dois solos com
aplicação do biochar e extrato pirolenhoso /
Isaque Leite. - 2023.
31 f. : il.

Orientador: Neyton de Oliveira Miranda.
Coorientadora: Danielle da Silva Oliveira
Martins.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, 2023.

1. Fertilização. 2. Adubo. 3. Nutrição do solo.
4. Biocarvão. 5. Vinagre de Madeira. I. Miranda,
Neyton de Oliveira, orient. II. Martins, Danielle
da Silva Oliveira, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

EPÍGRAFE

“Aquele que aprende e não coloca em prática
é como aquele que ara e não semeia.”

Saadi

RESUMO

O feijão-caupi é o segundo tipo de feijão mais cultivado no Brasil e desempenha um papel de grande relevância nas regiões Norte e Nordeste. Entretanto, a produtividade desse cultivo é considerada baixa devido a desafios relacionados a baixa fertilidade do solo e ao clima semiárido. A combinação de biochar com extrato pirolenhoso (EP) pode potencializar os efeitos individuais desses produtos no crescimento das plantas, devido aos benefícios múltiplos para a fertilidade do solo. Este estudo buscou avaliar os efeitos da aplicação do biochar de forma isolada e do biochar enriquecido com EP na produtividade do feijão-caupi. Os experimentos foram conduzidos em ambiente protegido em Mossoró, RN, em ARGISSOLO coletado no Assentamento Maisa, e em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO coletado na Escola Agrícola de Jundiá (EAJ), Macaíba, RN. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial com quatro repetições, no qual foram testadas quatro doses de biochar (0, 3, 6 e 9 t ha⁻¹) e dois tipos de biochar (puro ou enriquecido com EP). Foram determinados: número de vagens por vaso; comprimento de vagens; número de grãos por vagem; massa seca de raízes; peso de vagens verdes; peso de grãos verdes por vaso; peso de grãos secos por vaso. Os dados foram analisados por meio da estatística descritiva, teste de normalidade de Shapiro-Wilk, Análise de Variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Foi constatado efeito positivo significativo do incremento das doses de biochar sobre variáveis de produção do feijão caupi cultivado no solo da EAJ, em relação à testemunha. Em geral, os maiores valores de todas as variáveis foram obtidos com as maiores doses. No solo da Maisa, o incremento das doses de biochar exerceu efeito negativo sobre a massa seca de raízes. Enquanto isso, no solo da EAJ a adição de extrato pirolenhoso ao biochar diminuiu significativamente os valores de comprimento de vagens e número de grãos por vagem. Diante dos resultados obtidos no estudo, pode-se recomendar a aplicação de biochar para o cultivo do feijão caupi em condições semelhantes, porém não se recomenda a utilização do EP biochar.

Palavras-chave: Fertilização; Adubo; Nutrição do solo; Biocarvão; Vinagre de Madeira

ABSTRACT

Cowpea represents the second most cultivated type of bean in Brazil and plays a significant role in the North and Northeast regions. However, the productivity of this crop is still considered low due to challenges related to low soil fertility and the semiarid climate. The combination of biochar with wood vinegar (WV) can enhance the individual effects of these products on plant growth due to their multiple benefits for soil fertility. This study aimed to evaluate the effects of the application of biochar and biochar enriched with WV on cowpea yield. The experiments were conducted in a protected environment in Mossoró, RN, in an Acrisol collected from the Maisa Settlement, and in an Arenosol from the Escola Agrícola de Jundiaí (EAJ), Macaíba, RN. The experimental design was completely randomized in a factorial scheme with four replications. Factors tested were four doses of biochar (0, 3, 6, and 9 t ha⁻¹) and two types of biochar (pure or enriched with WV). The following variables were determined: number of pods per pot; length of pods; number of grains per pod; root dry mass; weight of green pod; green grain weight per pot; dry grain weight per pot. The data were analyzed using descriptive statistics, Shapiro-Wilk normality test, Analysis of Variance, and the means were compared using the Tukey test. A significant positive effect of increasing biochar doses on production variables of cowpea cultivated in EAJ soil was found, in relation to the control. In general, the highest values of all variables were obtained with the highest doses. In Maisa soil, the increase in biochar doses had a negative effect on the dry mass of roots. Meanwhile, in EAJ soil, the addition of pyroligneous extract to biochar significantly decreased the values of pod length and number of grains per pod. Given the results obtained in the study, the application of biochar can be recommended for the cultivation of cowpea in similar conditions, but the use of EP biochar is not recommended.

Keywords: Fertilization; Fertilizer; Soil nutrition; Biochar; Wood vinegar.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Disposição dos vasos durante a semeadura em casa de vegetação no experimento localizado no campus leste da UFERSA.....21
- Figura 2 – Disposição dos vasos durante a semeadura em casa de vegetação no experimento localizado no campus leste da UFERSA.....21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Características químicas e frações granulométricas de solos coletados no Assentamento Maisa, Mossoró, RN, e na Escola Agrícola de Jundiaí (EAJ), Macaíba, RN, para cultivo de feijão-caupi.....	20
Tabela 2	–	Resumo da Análise da Variância dos efeitos de doses de biochar e de sua mistura ou não com extrato pirolenhoso sobre parâmetros de vagens e raízes de feijão-caupi em solos do Assentamento Maisa (AM), Mossoró, RN, e da Escola Agrícola de Jundiaí (EAJ), Macaíba, RN.....	23
Tabela 3	–	Resumo da Análise da Variância dos efeitos de doses de biochar e de sua mistura ou não com extrato pirolenhoso sobre parâmetros de produção de feijão-caupi verde e seco em solos do Assentamento Maisa (AM), Mossoró, RN, e da Escola Agrícola de Jundiaí (EAJ), Macaíba, RN	24
Tabela 4	–	Comparações de médias das variáveis de produção e massa seca de raízes de feijão-caupi verde e seco em solos do Assentamento Maisa (AM), Mossoró, RN, e da Escola Agrícola de Jundiaí (EAJ), Macaíba, RN recebendo diferentes doses de biochar (t/ha) com ou sem extrato pirolenhoso.....	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Cultura do feijão-Caupi	15
2.2 Biochar	16
2.3 Extrato pirolenhoso	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Areas de estudo.....	20
3.2 Classificação dos solos	20
3.3 Delineamento experimental.....	21
3.4 Análises estatísticas	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico, o crescimento populacional e crescente insegurança alimentar tornam imperativo o aumento na produção mundial de alimentos. Entretanto, diante das evidências mudança climática, a produção agrícola deve aumentar de forma sustentável ambiental e economicamente. Entre as limitações a serem enfrentadas está a degradação da água e do solo, que é afetado pelo esgotamento de nutrientes, salinização e perda de sua estrutura, o que leva à redução na retenção de água, erosão e compactação (FAO, 2011; Idowu *et al.*, 2023). Estes problemas se agravam em regiões semiáridas, em solos de baixa fertilidade, ácidos, pobres em matéria orgânica e com pequena capacidade de reter água e nutrientes.

Neste contexto, o feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] (feijão-fradinho, feijão de corda, feijão-macassar) é um alimento básico em mais de 65 países e representa o segundo tipo mais cultivado no Brasil, onde tem grande importância nutricional e socioeconômica no Norte e Nordeste Brasileiros, contribuindo para a geração de empregos e renda. Seu potencial estratégico é devido a sua plasticidade, adaptação a diferentes ambientes em regiões tropicais e subtropicais, além do seu grande valor nutricional (Martins *et al.*, 2023; Silva *et al.* 2023). O feijão-caupi se adapta a regiões semiáridas por resistir ao estresse térmico, por tolerar a seca e solos de baixa fertilidade, pelo ciclo de crescimento curto de muitos de seus cultivares. Ele produz satisfatoriamente em solos arenosos e pobres em matéria orgânica e fósforo (Miranda *et al.*, 2020).

Entretanto, a produtividade desse cultivo ainda é considerada baixa devido a desafios relacionados a fatores edafoclimáticos restritivos na maioria das áreas de cultivo e à limitada adoção de tecnologias pela cadeia produtiva (Bastos *et al.*, 2023).

No cenário de necessidade de aumento sustentável da produção agrícola, o feijão-caupi merece destaque pois é um alimento fundamental em mais de 65 nações e de significativa importância nutricional e socioeconômica. O potencial desse cultivo se deve à sua capacidade de adaptação a diversas condições ambientais em áreas tropicais e subtropicais, bem como ao seu elevado valor nutricional (Martins *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2023).

No Brasil, foram plantados 1.352.100 ha de feijão-caupi em 2020/2021, que produziram 720,9 mil toneladas de grãos, com produtividade média de 533 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021). Em 2021/2022, produziu-se 720,2 mil toneladas (CONAB, 2022). A baixa produtividade se deve às chuvas irregulares, altas temperaturas, solos rasos e com baixa fertilidade, baixo nível tecnológico adotado, falta de assistência técnica, sementes de baixa qualidade e pragas e doenças (Bastos *et al.*, 2023; Miranda *et al.*, 2020).

A FAO (2011) recomenda a adoção de culturas apropriadas, como o feijão-caupi, aliado a práticas agrícolas que aumentem a matéria orgânica do solo, tais como a adubação verde, incorporação de resíduos das culturas, aplicação de esterco e de composto, de maneira a sequestrar carbono, promover a atividade biológica e a fixação biológica de nitrogênio, melhorar a estrutura do solo, suprir nutrientes para as plantas e retê-los no solo.

Uma alternativa é o aproveitamento da biomassa por meio de sua carbonização (pirólise). Alguns dos produtos da pirólise são de grande importância como alternativas a combustíveis tradicionais e produtos químicos inorgânicos (Grewal *et al.*, 2018). Um deles é o biochar, material rico em carbono e com bom potencial como condicionador de solo.

A aplicação de biochar pode melhorar o solo, promover a segurança alimentar e mitigar problemas ambientais por meio do sequestro de carbono (Novotny *et al.*, 2015). Sua aplicação pode reverter a degradação do solo, melhorar sua fertilidade e aumentar a produtividade das culturas. Este aumento é em média de 10% segundo Jeffery *et al.* (2011), mas é mais evidente em solos ácidos e arenosos. A maior produtividade ocorre por correção na acidez do solo e maior disponibilidade de água e nutrientes. O extrato pirolenhoso (EP) é outro produto da pirólise e apresenta grande potencial para uso na produção vegetal e animal, na forma natural ou em novas formulações. O EP é a fase líquida obtida após a condensação da fumaça formada pela carbonização da biomassa lignocelulósica, como madeira, resíduos florestais e agrícolas, para a produção de carvão vegetal, que é a fase sólida. O EP que contém 80 a 90% de água e cerca de 200 compostos orgânicos, principalmente o ácido acético, ácido fórmico, ácido propiônico, metanol, maltol, éter, álcool metílico, álcoois, acetaldeídos, acetona, cetona, fenóis, guayacol, derivados de furano e pirano, ésteres, cresol, etc. (Lourenço *et al.*, 2022; Ok *et al.*, 2016; Feijó *et al.*, 2023).

No sentido do maior aproveitamento dos produtos da pirólise têm sido desenvolvidos estudos sobre o efeito da aplicação conjunta de biochar e EP. Neste aspecto, Idowu *et al.* (2023) investigaram o efeito da interação entre a aplicação do biochar ao solo e do EP nas plantas sobre a biomassa total, peso das frutas e teor de açúcares do tomateiro. Seus resultados indicaram que o biochar proporcionou maior produtividade do tomateiro. O EP obtido de matérias primas vegetais beneficiou a produtividade, porém o EP obtido de matérias primas de origem animal não apresentaram o mesmo comportamento.

Por sua vez, Luo *et al.* (2019) afirmam que, para melhorar seu desempenho, a aplicação conjunta de biochar e EP é indicada. No entanto, ressaltam que são limitadas as informações disponíveis sobre o efeito da aplicação conjunta de EP e biochar na germinação de sementes, crescimento de mudas e produção agrícola. Como o EP e o biochar são produzidos ao mesmo

tempo e têm qualidades complementares, uma combinação de ambos pode ter melhores efeitos no crescimento das plantas. Assim sendo, a adição combinada de EP e biochar pode ser uma estratégia viável para melhorar a qualidade do solo e, assim, aumentar a produção das culturas.

Segundo Pan *et al.* (2017), a combinação de biochar com EP pode maximizar os efeitos individuais destes produtos sobre o crescimento das plantas. Isso é atribuído a múltiplos benefícios para a fertilidade do solo. Outro benefício da aplicação combinada de biochar e EP é a melhoria significativa das condições físicas e químicas do solo afetado por sais, aumentando a produção agrícola devido ao declínio da salinidade do solo. Isso pode ser explicado pelos múltiplos benefícios da lixiviação de sais, melhoria da fertilidade do solo, fornecimento de nutrientes e sua translocação para os grãos (Yue *et al.*, 2023; Lashari *et al.*, 2015).

O feijão-caupi se adapta e produz satisfatoriamente em regiões semiáridas, em solos arenosos e pobres em matéria orgânica e nutrientes. Ele resiste ao estresse térmico e tolera a seca e solos de baixa fertilidade. Tendo em vista os aspectos expostos anteriormente, o presente trabalho tem como objetivo determinar os efeitos da aplicação de biochar e de biochar enriquecido com extrato pirolenhoso sobre parâmetros de produtividade do feijão-caupi.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura do feijão-Caupi

De origem africana, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), é uma leguminosa herbácea da família fabaceae que possui bastante importância nos países em desenvolvimento, fato esse que se deve ao valor nutricional presente em seus grãos e a características, como a fixação biológica de nitrogênio e tolerância à seca (Carvalho *et al.*, 2017; Jayathilake *et al.*, 2018).

Conhecido popularmente como feijão macassar, feijão-de-corda, feijão fradinho, o feijão-caupi, é parte principal na dieta alimentar da população nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, sendo uma importante fonte proteica para as pessoas. Sua produção é dominante nas áreas semiáridas da região Nordeste (Guerra *et al.*, 2020).

Apesar de todas suas partes comestíveis serem nutritivas, os grãos, verdes ou secos, são a parte mais consumida. Seu conteúdo de proteína chega a 25%, contendo aminoácidos como tiamina e niacina, carboidratos, vitaminas, minerais e fibra alimentar. Ele também é muito usado na alimentação animal e como adubo verde e cobertura do solo para recuperação de solos degradados. Sua capacidade de fixar nitrogênio do ar e incorporá-lo ao solo, em simbiose com bactérias específicas, supre o requerimento de nitrogênio e diminui o custo de produção (Miranda *et al.*, 2020).

O feijão caupi pode ser considerado como um tipo de cultivo de subsistência, pois um fator primordial que leva a essa afirmação é o fato dele ser bastante produzido por pequenos agricultores da região do semiárido nordestino. Quando se fala aos aspectos da cultura, aos substratos a ser utilizados para a semeadura, deve ser levado em consideração a estrutura física, componentes químicos, biológicos e nutricionais, para que haja um manejo adequado resultando assim em no bom desenvolvimento da cultura (Oliveira, 2019).

Embora essa cultura seja de extrema importância para as regiões semiáridas, ainda existe uma deficiência no que se refere à disponibilização do conhecimento sobre o tipo de tecnologias que devem ser empregadas. O manejo nutricional, destaca-se dentre as tecnologias em busca de uma melhoria de produtividade (Vale, *et al.*, 2017; Souza *et al.*, 2023).

Em trabalhos de Costa (2020), Moosavi *et al.* (2020) e Ferreira (2022) foi salientado que um dos fatores influência direta e determinantes das variáveis agronômicas do feijão-caupi são as condições de solo. Estes autores avaliaram diferentes fontes de adubação para a cultura e obtiveram resultados positivo sobre o crescimento com a aplicação de biochar. As conclusões

obtidas indicam que o biocarvão em diferentes doses, influencia no rendimento do feijão-caupi em solos que apresentam déficit hídrico, condição essa que aumenta o rendimento de grãos, e isso se dá pelo fato de tal material agir no solo de maneira a fazê-lo reter mais água, contribuindo assim na diminuição do estresse hídrico da planta.

2.2 Biochar

O Biochar ou biocarvão é o resultado da carbonização ou pirólise de biomassa em condições de baixa concentração de oxigênio, transformando-se em um material carbonáceo de textura fina que possui uma fração orgânica com alto teor de carbono, caracterizada pela sua resistência à decomposição, ou seja, mineralização (Lehmann e Joseph, 2015). Esse processo de pirólise pode ocorrer naturalmente na natureza ou ser induzido pela ação humana, acontecendo tanto em ecossistemas naturais quanto em sistemas agrícolas, como evidenciado historicamente pelo manejo das 'Terras Pretas de Índio' pelos povos indígenas da Amazônia (Macedo *et al.*, 2019).

Existem vários processos para obter o Biochar, sendo que a sua qualidade está intrinsecamente ligada a cada método específico e ao material ao qual esse processo é aplicado (Sohi *et al.*, 2010). As condições e o rendimento da produção de Biochar, bem como os produtos gerados no final do processo, dependem significativamente do tipo de pirólise empregado.

No processo de produção do biochar, há três principais métodos de degradação térmica que são predominantemente influenciados pela temperatura de pirólise, pelo tempo que o material permanece no reator e pela taxa de aquecimento, conhecida como a rampa de aquecimento. A pirólise lenta envolve a conversão térmica da biomassa por aquecimento a temperaturas baixas e médias, na ausência de oxigênio. A pirólise rápida, por sua vez, é caracterizada pelo aquecimento extremamente rápido da biomassa, resultando em uma proporção maior de bio-óleo e uma menor quantidade de biochar. A terceira abordagem, conhecida como gaseificação, envolve a pirólise em temperaturas elevadas e tem o biochar como um subproduto (Brown, 2009; Brownsort, 2009; McCarl *et al.*, 2009).

O biochar tem se revelado uma alternativa significativa para o manejo de solos na agricultura, devido aos seus vários mecanismos de utilização que podem impulsionar sua produção e adoção. Inicialmente, o biochar passa por um processo de mineralização da fração lábil, liberando e adicionando nutrientes solúveis ao solo (Lehmann e Joseph, 2015). O biochar retém nutrientes como nitrogênio, fósforo e enxofre, em parte devido ao aumento da atividade microbiana ou às alterações na composição e abundância da comunidade microbiana do solo

(Lehmann e Joseph, 2015). O biochar também ajuda a diminuir as perdas de nitrogênio por volatilização, seja na forma de NH_3^+ ou por emissões de N_2 e N_2O devido à desnitrificação (Cayuela *et al.*, 2013); Além disso, devido às suas propriedades físico-químicas, o biochar contribui para a redução da lixiviação de nutrientes (Burrell *et al.*, 2016).

Muitas pesquisas destacaram o significativo potencial da aplicação de biochar para aumentar a produtividade das culturas. Além do trabalho de Miranda *et al.* (2020) que observaram resposta crescente dos parâmetros de produção no primeiro ciclo do feijão-caupi ao aumento até $10,5 \text{ t ha}^{-1}$ das doses de biochar em cinco solos. Além disso, observaram efeito residual da aplicação do biochar em um segundo ciclo em alguns solos. Os resultados obtidos sem fertilização indicam os benefícios do uso do biochar como corretivo em solos do semiárido brasileiro. Por outro lado, em estudos com feijão comum, Silva *et al.* (2017b) observaram que o biochar promoveu o maior desenvolvimento da planta com aumento da seca da raiz massa, massa seca da parte aérea, número de vagens, número e massa seca dos grãos. Por sua vez, Lima *et al.* (2021) observaram que os tratamentos com biochar promoveram aumento na produtividade do feijoeiro e na eficiência do uso de água.

Em estudos realizados por Petter *et al.* (2012) para analisar a interação entre diferentes doses do fertilizante mineral NPK e diversas doses de biochar de eucalipto no que diz respeito à produtividade e ao desenvolvimento do arroz de terras altas, os autores observaram que o biochar foi o único fator que exibiu um efeito significativo sobre a produtividade do arroz. Agegnehu *et al.* (2016), registrou um acréscimo de 29% na colheita de grãos de milho com a aplicação de 25 toneladas por hectare de biochar originado de resíduos de madeira de salgueiro (*Salix spp.*). Em outra pesquisa, a aplicação de 20 toneladas por hectare de biochar proveniente de palha de milho resultou em um incremento de 20% na produção de trigo (Tian *et al.*, 2018).

O uso do biochar é altamente relevante no manejo e gestão de solos agrícolas, especialmente em regiões semiáridas, por causa das condições edafoclimáticas, onde o intemperismo e as altas temperaturas dificultam a manutenção da matéria orgânica e a retenção de água no solo, por consequência, prejudica a fertilidade do solo, fundamental para os vegetais se desenvolverem (Sombra *et al.*, 2020).

2.3 Extrato pirolenhoso

O extrato pirolenhoso é um líquido condensado dos gases provenientes da carbonização para produção de biochar. Ele é considerado adequado ambientalmente adequado e contém mais de 200 tipos de substâncias orgânicas (Zhu *et al.*, 2021).

Apenas cerca de 30% da massa da madeira queimada para a produção de carvão vegetal se transforma em combustível. O restante da biomassa é liberado na atmosfera, contribuindo para o aumento da concentração de gases poluentes. Um dos subprodutos liberados na atmosfera e, portanto, não utilizado comercialmente, é o extrato pirolenhoso. Esse líquido, também conhecido como líquido pirolenhoso, ácido pirolenhoso, vinagre de madeira ou licor da madeira, é obtido como um subproduto durante o processo de pirólise da madeira. A proporção das diferentes fases desse subproduto varia de acordo com a temperatura, o tipo de processo, o tipo de biomassa e o equipamento utilizado (Sena, 2014).

De acordo com Miyasaka *et al.* (1999; 2001), o extrato pirolenhoso é reconhecido e empregado de várias maneiras, incluindo como condicionador de solo, aprimorando as características físicas, químicas e particularmente biológicas do solo, o que resulta no aumento de micro-organismos benéficos e, conseqüentemente, facilita a absorção de nutrientes pelas plantas. Além disso, ele atua como bioestimulante vegetal, estimulador do enraizamento e repelente de insetos, contribuindo para a redução da dependência de agroquímicos na agricultura convencional.

Estudos mais recentes mostraram que o extrato pirolenhoso é composto por mais de 200 substâncias, cuja composição varia de acordo com as espécies de madeira utilizadas, a temperatura aplicada no processo e o método de obtenção. Essas substâncias têm diversas aplicações no setor agrícola, sendo amplamente empregadas para combater fungos e microrganismos devido às suas propriedades antifúngicas e antimicrobianas (Silva *et al.*, 2017a; Medeiros, 2018), após serem devidamente diluídas conforme a finalidade desejada.

É reconhecido que o extrato pirolenhoso é composto por substâncias químicas orgânicas com propriedades fungicidas, bactericidas e termicidas (Yatagai *et al.*, 2002; Wititsiri *et al.*, 2011). Entre a diversidade de substâncias, estão: ésteres; cetonas; ácidos; aldeídos; metanol; alcatrão solúvel e insolúvel; cadeias fenólicas que são provenientes do alcatrão e água (Zanetti *et al.*, 2003; Campos, 2018). Dentre os componentes químicos predominantes identificados, destacam-se os ácidos orgânicos, aldeídos e compostos fenólicos (Almeida *et al.*, 2019).

Segundo Campos (2018), O extrato pirolenhoso possui uma ampla gama de aplicações, incluindo sua utilização na composição de adubos orgânicos e na compostagem. Ele atua como um potencializador da eficiência de produtos fitossanitários, melhorando a absorção de nutrientes em pulverizações foliares devido às suas propriedades quelatizantes. Além disso, é empregado na desinfecção de ambientes e como um esterilizante eficaz. Na indústria alimentícia, é utilizado como aditivo. Em cuidados pessoais, é empregado em banhos para a lavagem da pele áspera e como aditivo alimentar. Entretanto, recomenda-se realizar a destilação

do extrato pirolenhoso bruto antes de sua aplicação, a fim de eliminar por completo o alcatrão e outras toxinas que possam ainda estar presentes, especialmente quando utilizado em hortaliças e na pulverização de frutos.

O interesse pelo extrato pirolenhoso tem crescido significativamente. Isso se deve à sua capacidade de ser modificado em termos de composição, seja ajustando as condições térmicas do processo ou através do uso de catalisadores. Esse produto tem atraído a atenção de diversas áreas de aplicação, abrangendo não apenas a agricultura e a indústria alimentícia, mas também setores como a medicina e a farmácia, devido à possibilidade de extrair e utilizar princípios ativos presentes em plantas, bem como na indústria têxtil (Campos, 2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Áreas de estudo

No presente trabalho foram realizados dois experimentos em localidades diferentes, ambos em ambiente protegido. Os locais escolhidos foram, a casa de vegetação localizada no Laboratório de Solo, Água e Planta (LASAP) localizado no lado leste da Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, campus Mossoró (5° 11' S; 37° 20' W) e o segundo experimento foi conduzido na Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, em Macaíba, RN (5,89 S; 35,36 W).

O clima de Mossoró é semiárido, megatérmico, com déficit hídrico durante o ano e, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSw^h, portanto, seco e muito quente, com duas estações climáticas definidas: uma seca, que vai de junho a janeiro, e uma chuvosa, de fevereiro a maio (Vanomark *et al.*, 2018). Na região de Macaíba o clima é uma transição entre os tipos As' e BSh', com temperaturas altas durante todo o ano e estação chuvosa no outono e inverno (Cestaro e Soares, 2004).

3.2 Classificação dos solos

Os solos usados nos experimentos foram coletados na camada de 0 a 20 cm de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO do Assentamento Maisa, em Mossoró-RN, e um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO da Escola Agrícola de Jundiá, Macaíba-RN.

Antes do experimento, os solos foram caracterizados quanto a características químicas e granulometria (Tabela 1) e tiveram determinada a capacidade de retenção de água pelo vaso, conforme Casaroli e Van Lier (2008).

Tabela 1. Características químicas e frações granulométricas de solos coletados no Assentamento Maisa, Mossoró, RN, e na Escola Agrícola de Jundiá (EAJ), Macaíba, RN, para cultivo de feijão-caupi.

Argissolo do Assentamento Maisa											
pH	MO g kg ⁻¹	P -----mg	K ⁺ dm ⁻³ -----	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	H+Al	CTC	argila	Silte	areia
6,3	3,0	25,2	44,2	7,0	1,15	0,50	0,66	2,44	0,04	0,03	0,93
Neossolo Quartzarênico da EAJ											
6,2	3,0	6,2	64,5	27,9	1,3	0,8	0,17	2,55	0,07	0,03	0,90

MO – Matéria orgânica do solo; H+Al – acidez potencial; CTC – capacidade de troca de cátions.

3.3 Delineamento experimental

As unidades experimentais eram vasos plásticos com volume de 5 dm³, cheios com solo até a altura de 20 cm. Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, com quatro repetições. Os fatores estudados foram: a) quatro doses de biochar e b) dois produtos: biochar e biochar embebido em extrato pirolenhoso (EPbiochar). O biochar e o EPbiochar, com granulometria inferior a 60 mesh, foram misturados completamente ao solo dos vasos em doses equivalentes a 0, 3, 6 e 9 t ha⁻¹, ou seja, 0; 7,5; 15,0 e 22,5 g vaso⁻¹. Assim sendo, os oito tratamentos constaram de todas as combinações dos níveis dos dois fatores.

O biochar utilizado nos dois experimentos foi produzido por carbonização de madeira de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em forno de alvenaria, com temperatura de 450 °C ao final da carbonização. O forno possui um condensador metálico tubular mantido à temperatura ambiente. Os líquidos condensados resultantes ao final da carbonização foram decantados e o sobrenadante foi destilado duas vezes a 100°C, sem atingir 105°C para obter EP livre de óleo e alcatrão. Para a obtenção do EPbiochar usado nos dois experimentos, o biochar foi embebido com extrato pirolenhoso bidestilado na proporção de 3 para 1 em peso e deixado secar naturalmente.

O feijão-caupi, de variedade Pingo de Ouro, foi semeado nos dois experimentos com 5 sementes por vaso e, após o estabelecimento das plântulas, foram mantidas duas plantas por vaso. Não foi realizada adubação. Os vasos foram dispostos na casa de vegetação em linhas e colunas espaçadas de 50 cm (Figuras 1 e 2).



Figuras 1 e 2: Disposição dos vasos durante a semeadura em casa de vegetação no experimento localizado no campus leste da UFRSA. Fonte: Autoria própria.

Durante o ciclo da cultura foram realizadas aplicações de Extrato Pirolenhoso a 10% e

do inseticida Evidence, para combater pulgões, mosca branca e mosca minadora.

A irrigação foi realizada para repor a água referente à diferença entre o peso médio dos vasos na Capacidade de Campo e o peso obtido de oito vasos escolhidos ao acaso no momento da irrigação. A colheita das plantas de metade dos vasos, devido à maturação desuniforme, foi realizada quando as vagens atingirem o ponto de colheita para feijão-verde, assim que começaram a mudar para um estado macio e firme, com cor entre verde e amarelo palha. A outra metade dos vasos foi colhida ao final do ciclo da cultura, quando as vagens apresentaram cor de palha e os grãos secos foram debulhados manualmente.

Após as colheitas de grãos verdes e de grãos secos, foram determinadas as seguintes variáveis: NMVG – número de vagens por vaso; CMVG – comprimento de vagens; NGRVG – número de grãos por vagem; MSRZ – massa seca de raízes; PVGV – peso de vagens verdes; PGRV – peso de grãos verdes por vaso; PGRS – peso de grãos secos por vagem.

3.4 Análises estatísticas

As análises estatísticas realizadas individualmente para cada experimento e consistiram em análise de variância com teste F ($p < 0,05$). As variáveis de planta analisadas foram: NMVG, CMVG, NGRVG, MSRZ, PVGV, PGRV E PGRS. A comparação de médias entre tratamentos foi feita pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), para comparar o efeito das doses de biochar isolado e do EPbiochar. As análises foram realizadas com auxílio do software SISVAR (Ferreira, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeitos significativos das doses de biochar e da adição ou não de extrato pirolenhoso ao biochar sobre as variáveis determinadas no feijão-caupi foram observados principalmente no experimento realizado na Escola Agrícola de Jundiá, com exceção da massa seca de raízes no experimento realizado em solo do Assentamento Maisa (Tabelas 2 e 3). Não foram observados efeitos significativos da interação entre os efeitos do biochar e do extrato pirolenhoso.

O fato de que os efeitos significativos prevaleceram no experimento de Macaíba pode ser devido ao fato de que o biochar proporciona menores benefícios em solos com melhores condições químicas, físicas e biológicas (Jatav *et al.*, 2021). Neste sentido, o solo da EA possui menor teor de P e maior teor de Na⁺ (Tabela 1). Outro aspecto que indica melhores condições ao cultivo de feijão caupi no solo da Maisa é que somente nele houve cultivos anteriores desta cultura, que segundo Saboya *et al.* (2008) é colonizada e estabelece nodulação com várias estirpes de rizóbio nativo. Isto pode ter sido a causa da evidente colonização das raízes por bactérias fixadoras de nitrogênio, cujos nódulos radiculares foram verificados visualmente apenas neste solo.

Tabela 2. Resumo da Análise da Variância dos efeitos de doses de biochar e de sua mistura ou não com extrato pirolenhoso sobre parâmetros de vagens e raízes de feijão-caupi em solos do Assentamento Maisa (AM), Mossoró, RN, e da Escola Agrícola de Jundiá (EAJ), Macaíba, RN.

FV	GL	NMVG		CMVG		NGRVG		MSRZ	
		AM ^T	EAJ ^T	AM	EAJ	AM	EAJ ^T	AM	EAJ ^T
Biochar (B)	3	0,016 ^{NS}	0,066 ^{NS}	6,016 ^{NS}	82,785**	6,199 ^{NS}	1,212**	59,321**	0,037**
EP	1	0,010 ^{NS}	0,007 ^{NS}	0,523 ^{NS}	35,008*	1,422 ^{NS}	0,932*	32,835 ^{NS}	0,0002 ^{NS}
B x EP	3	0,021 ^{NS}	0,008 ^{NS}	0,498 ^{NS}	10,004 ^{NS}	0,353 ^{NS}	0,306 ^{NS}	8,401 ^{NS}	0,010 ^{NS}
Resíduo	56	0,084 ^{NS}	0,045	3,721 ^{NS}	7,312	4,325 ^{NS}	0,216	11,195	0,009
Total	63	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	2,31	1,81	17,75	12,27	9,79	2,46	11,14	1,12
CV (%)	-	12	12	11	22	21	19	30	8

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; EP – extrato pirolenhoso; CV – coeficiente de variação; NMVG – número de vagens por vaso; CMVG – comprimento de vagens; NGRVG – número de grãos por vagem; MSRZ – massa seca de raízes;

^T Dados transformados pela raiz quadrada de (x+1)

Entre as variáveis apresentadas na Tabela 2, os efeitos das doses de biochar sobre CMVG, NGRVG e MSRZ no experimento realizado com solo da EAJ, e MSRZ no experimento com solo da Maisa, foram significativos ao nível de 1% de probabilidade. Por sua vez, o efeito da adição ou não de extrato pirolenhoso ao biochar foi significativo (p<0,05) apenas sobre as variáveis CMVG e NGRVG no solo da EAJ. Neste mesmo solo, o efeito das doses de biochar sobre variáveis de produção foi significativo apenas para os grãos colhidos verdes (Tabela 3),

em termos de produção de vagens (PVG – $p < 0,05$) e de grãos (PGR – $p < 0,01$).

De acordo com Novotny *et al.* (2015) nos casos de efeito positivo da aplicação de biochar, pode-se atribuí-lo a benefícios conhecidos do biochar em solos com características semelhantes aos solos deste estudo, que são arenosos e apresentam baixa fertilidade natural. Os benefícios principais são a correção da acidez do solo, a adição de nutrientes, principalmente o K^+ , além de melhoria nas condições físicas do solo, como densidade e retenção de água.

Tabela 3. Resumo da Análise da Variância dos efeitos de doses de biochar e de sua mistura ou não com extrato pirolenhoso sobre parâmetros de produção de feijão-caupi verde e seco em solos do Assentamento Maisa (AM), Mossoró, RN, e da Escola Agrícola de Jundiá (EAJ), Macaíba, RN.

FV	PVG		PGR			PGRS	
	GL	AM	Quadrados médios			AM	EAJ ^T
Biochar (B)	3	0,151 ^{NS}	0,400*	14,977 ^{NS}	0,728**	0,489 ^{NS}	0,006 ^{NS}
EP	1	0,644 ^{NS}	0,368 ^{NS}	1,205 ^{NS}	0,089 ^{NS}	3,452 ^{NS}	0,217 ^{NS}
B x EP	3	5,366 ^{NS}	0,077 ^{NS}	16,606 ^{NS}	0,009 ^{NS}	0,619 ^{NS}	0,079 ^{NS}
Resíduo	24	49,534 ^{NS}	0,109	21,854 ^{NS}	0,139	4,337 ^{NS}	0,099
Total	31	-	-	-	-	-	-
Média	-	8,07	2,06	15,46	2,07	10,35	1,81
CV (%)	-	18	16	30	18	20	17

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; EP – extrato pirolenhoso; CV – coeficiente de variação; PVG – peso de vagens verdes; PGR – peso de grãos verdes por vaso; PGRS – peso de grãos secos por vagem; ^T Dados transformados pela raiz quadrada de (x+1).

Entre as variáveis com efeito significativo das doses de biochar (experimento EAJ), em geral a testemunha apresentou os menores valores, ou seja, as doses de biochar melhoraram os parâmetros dimensionais de vagens, grãos e raízes (Tabela 4). Entretanto, a dose de 3 t ha⁻¹ foi a que apresentou os maiores valores de CMVG e NGRVG, apesar de não ter diferido significativamente das doses de 6 e 9 t ha⁻¹. No caso das raízes (MSRZ) a maior dose proporcionou a maior massa seca do feijão caupi na EAJ, enquanto as demais doses não diferiram entre si. O efeito negativo do incremento das doses de biochar sobre MSRZ no solo da Maisa pode ser devido a prejuízos à colonização das raízes por bactérias fixadoras de nitrogênio.

O menor desempenho da testemunha comprova que a aplicação de biochar proporcionou benefícios às plantas de feijão-caupi. Entretanto, algumas variáveis apresentaram melhor desempenho em doses intermediárias o que pode ser devido a efeitos negativos de altas doses de biochar, entre as quais a obstrução de poros do solo, a retenção de nitrogênio e a existência de substâncias tóxicas em sua composição (Brtnický *et al.*, 2021).

Tabela 4. Comparações de médias das variáveis de produção e massa seca de raízes de feijão-caupi verde e seco em solos do Assentamento Maisa (AM), Mossoró-RN, e da Escola Agrícola de Jundiá (EAJ), Macaíba-RN recebendo diferentes doses de biochar (t/ha) com ou sem extrato pirolenhoso.

	NMVG		CMVG		NGRVG		MSRZ		PVG		PEGV		PGRS	
	AM	EAJ	AM	EAJ	AM	EAJ	AM	EAJ	AM	EAJ	AM	EAJ	AM	EAJ
Dose	Efeito das doses de biochar													
0	4,37	2,62	18,29	9,01 b	10,66	3,38 b	13,04a	0,20 b	8,252	2,16 b	15,63	1,97 b	10,55	2,47
3	4,25	2,06	17,79	14,12 a	9,80	6,51 a	11,67a	0,16 b	8,069	3,28 ab	13,59	3,15 ab	10,30	2,25
6	4,56	2,31	16,88	12,60 a	9,26	5,47 ab	11,33ab	0,26 ab	8,044	3,85 ab	15,76	3,79 ab	10,53	2,31
9	4,37	2,29	18,03	13,52 a	9,45	6,03 a	8,37b	0,42 a	7,920	4,41 a	16,87	5,22 a	10,02	2,50
	Efeito do Extrato Pirolenhoso													
sem	4,34	2,28	17,66	13,00 a	9,64	5,92 a	11,89	0,26	8,21	3,86	15,27	3,69	10,02	2,64
com	4,44	2,37	17,84	11,50 b	9,94	4,69 b	10,43	0,25	7,93	2,89	15,66	3,25	10,68	2,10

NMVG – número de vagens por vaso; CMVG – comprimento de vagens; NGRVG – número de grãos por vagem; MSRZ – massa seca de raízes; PVGV – peso de vagens verdes; PGRV – peso de grãos verdes por vaso; PGRS – peso de grãos secos por vagem. Médias seguidas por letras diferentes nas colunas não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Em relação aos parâmetros de produção de grãos verdes e secos de feijão caupi (Tabela 4), também se observa que a testemunha apresentou os menores valores de vagens (PVG) e grãos verdes (PEGV), para os quais a dose de 9 t ha⁻¹ apresentou os maiores valores. Em relação às doses adequadas de biochar, Miranda *et al.* (2018) atribui as diferenças nos resultados encontrados na literatura a variações no tipo de solo e nas condições de produção do biochar. Nos artigos citados foram obtidos resultados positivos com doses desde 4 e 5 t ha⁻¹, consideradas baixas, 10, 15 e 20 t ha⁻¹, consideradas altas, até doses tão altas quanto 50 ou mais de 100 t ha⁻¹. Neste aspecto, os autores ressaltam a obtenção de resultados satisfatórios com dose de 5 t ha⁻¹ em solo arenoso, como a do presente estudo. Por outro lado, doses médias e altas tendem a não ter viabilidade prática e econômica.

Considerando os tratamentos com biochar e EPbiochar, a maioria das variáveis não apresentou resposta significativa e aquelas que apresentaram efeito significativo (Tabela 4), ambas no experimento da EAJ (CMVG e NGRVG), as maiores médias foram observadas quando não se adicionou EP. Quanto as outras variáveis, não foi observada tendência consistente em favor da adição ou não do EP.

De acordo com experimento realizado por Zhu *et al.* (2021), afirmam que os benefícios do EP para o crescimento, produção e qualidade das culturas dependem da espécie vegetal e da concentração utilizada. Em seu trabalho, eles observaram que uma diluição de 1/400 do EP em água aumentou significativamente vários parâmetros de produção de nabo. As restrições apontadas são de que a pesquisa sobre sua aplicação em culturas está em estágio inicial e que não se conhece possíveis interações com outras substâncias.

Por outro lado, os resultados negativos obtidos no presente trabalho podem ser explicados por Morales *et al.* (2022), que investigaram a possibilidade de fitotoxicidade e

citotoxicidade do EP sobre plantas de alface e recomendaram que o produto seja diluído para aplicação em culturas, mas que concentrações menores do que 0,5% não apresentam riscos para as plantas e o ambiente em geral.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi constatado efeito positivo significativo do incremento das doses de biochar sobre variáveis de produção do feijão caupi cultivado no solo da EAJ, em relação à testemunha. Em geral, os maiores valores das variáveis foram obtidos com as maiores doses. No solo da Maisa, o incremento das doses de biochar exerceu efeito negativo sobre a massa seca de raízes. Enquanto isso, no solo da EAJ a adição de extrato pirolenhoso ao biochar diminuiu significativamente os valores de comprimento de vagens e número de grãos por vagem.

Os resultados positivos da aplicação de biochar permitem a recomendação de seu uso para o cultivo do feijão caupi em solos arenosos não adubados. Entretanto, não se recomenda a utilização do EP biochar.

REFERÊNCIAS

- AGEGNEHU, G.; BASS, A. M.; NELSON, P. N.; BIRD, M. I. Benefits of biochar, compost and biochar–compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. **Science of the Total Environment**, v. 543, p. 295-306, 2016.
- ALMEIDA, R.S.R; TACCINI, M.M; MOURA, L.F; CERIBELLI, U.L; BRITO, J.O., GLORIA E.M. Potential of pyroligneous extract of Eucalyptus wood as a preservative of cosmetic and sanitizing products. **Waste Biomass Valor**, v. 10, p. 1111-1118, 2019.
- BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; SALES, R. A. de; BEZERRA, R. L. S.; CUADRA, S. V.; SILVA, F. A. M. da. **Calibração do modelo CROPGRO-cowpea para simulação do crescimento e rendimento de grãos de feijão-caupi com e sem deficit hídrico**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2023. 24 p. (Embrapa Meio-Norte. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 149).
- BROWN, R. Biochar production technology. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds.). **Biochar for environmental management: science and technology**. London: Earthscan, 2009. p. 127-148.
- BROWNSORT, P. A. Biomass pyrolysis processes: review of scope, control and variability. **United Kingdom Biochar Research Centre**, London, v. 1, p. 1-39, 2009.
- BRTNICKY, M.; DATTA, R; HOLATKO, J.; BIELSKA, L.; GUSIATIN, Z, M.; KUCERIK, J; HAMMERSCHMIEDT, T; DANISH, S.; RADZIEMSKA, M.; MRAVCOVA, L.; FAHAD, S.; KINTL, A.; SUDOMA, M; AHMED, N.; PECINA, VA critical review of the possible adverse effects of biochar in the soil environment. **Science of The Total Environment**. v. 796, 148756, 2021.
- BURRELL, L. D.; ZEHETNER, F.; RAMPAZZO, N.; WIMMER, B.; SOJA, G. Long-term effects of biochar on soil physical properties. **Geoderma**, v. 282, p. 96-102, 2016.
- CAMPOS, A. D. **Informação técnica sobre extrato pirolenhoso**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2018. 9 p. (Circular técnica, 177). Disponível em: infoteca.cnptia.embrapa.br. Acesso em: 1 out. 2023.
- CARVALHO M ; LINO-NETO T ; ROSA E ; CARNIDE V. Cowpea: a legume crop for a challenging environment. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 13, p. 4273-4284, 2017.
- CASAROLI, D.; JONG VAN LIER, Q. de. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 59-66, 2008.
- CAYUELA, M. L.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; ROIG, A.; HANLEY, K.; ENDERS, A.; LEHMANN, J. Biochar and denitrification in soils: when, how much and why does biochar reduce N₂O emissions? **Scientific Reports**, v. 3, p. 1732, 2013.
- CESTARO, L. A; SOARES, J. J. Variações florística e estrutural e relações fitogeográficas de um fragmento de floresta decídua no Rio Grande do Norte, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre 18(2):203–218, 2004.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2020/2021, 10º levantamento, julho de 2021**. Brasília, DF: CONAB, v. 8, n. 10, p. 12-14, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 19 Abr 2023.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Monitoramento da safra brasileira de grãos: 2021/22 colheita.** Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: Mai 2022.

COSTA, R. S. **Respostas fisiológicas, nutricionais e produtivas em plantas de feijão-de-corda cultivadas sob fontes de adubos.** 2020. 74 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de pós-graduação em Agronomia-Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias.

FAO. **The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; London: Earthscan, 2011.

FEIJÓ, F.M.C; da SILVA B.A; ALVES N.D, PIMENTA A.S ;BENICIO L.D.M; da SILVA JÚNIOR E.C; SANTOS C.S; EREIRA A.F, MOURA Y.B.F, GAMA G.S.P, NETO E.S.L Use of eucalyptus wood vinegar as antiseptic in goats. In: KUKOVICS, S. **Goat Science - From Keeping to Precision Production.** London: IntechOpen, 2023.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n.2, p. 109-112, 2014.

FERREIRA, K. D. de R. **Características agrônômicas do feijão-caupi e bioindicadores de qualidade do solo após aplicação de biochar de resíduos animais.** 2022. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) - Universidade Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2022.

GREWAL, A.; ABBEY, L.; GUNUPURU, L. R. Production, prospects and potential application of pyroligneous acid in agriculture. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 135, p. 152–159, 2018.

GUERRA, A.M ; SILVA, M.G.; EVANGELISTA, R.S; SANTOS, E.B. Parcelamento de doses de K₂O sobre a produção de feijão-caupi. **Scientia Plena**, v 16, n 8, p. 1-9 ,2020.

IDOWU, O ; NDEDE, E.O ; KUREBITO S ; TOKUNARI T ; JINDO K. Effect of the Interaction between Wood Vinegar and Biochar Feedstock on Tomato Plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, p. 1599–1610, 2023.

JAYATHILAKE, C; VISVANATHAN R ; DEEN A; BANGAMUWAGE R; JAYAWARDANA B; NAMMI B; LIYANAGE R. Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 13, p. 4793-4806, 2018.

JATAV H S ; RAJAPUT V D; MINKINA T ; SINGH K S; CHEJARA S; GOROVTSOV A ; BARAKHOV A ; BAUER T ; SUSHKOVA S ; MANDZHIEVA S; BURACHEVSKAYA M ; KALINITCHENKO V P. Sustainable approach and safe use of biochar and its possible consequences. **Sustainability**, v. 13, 10362, 2021.

JEFFERY S; VERHEIJEN F.G.A ; VAN DER VELDE M ; BASTOS A.C.A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 144, n. 1, p. 175–187, 2011.

LASHARI M S; JI Y H; LI L; LU G W K H ; ZHENG J; PAN G. Biochar-manure compost in conjunction with pyroligneous solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a saline soil from Central China: A two-year field experiment. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 95, p. 1321–1327, 2015.

- LEHMANN, J. & JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**. London, UK: Routledge, 2015.
- LIMA J. R. D; DE GOES M. D. C; ANTONINO A. C. D; DE MEDEIROS E. V., DUDA G. P; BAROS DA SILVA LEITE M. C DE; DA SILVA V. P; DE SOUZA B. L. L.; CLAUDE H. Biochar enhances Acrisol attributes and yield of bean in Brazilian tropical dry region. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v. 71, p. 674–682, 2021.
- LOURENÇO, Y.B. C ; PIMENTA A .S; DE PAIVA L.L; FEIJÓ F.M.C ; FASCIOTTIE M ; CASTRO R.V.O; SOUZA E C. Eucalyptus wood vinegar: chemical profiling, evaluation of acute toxicity to artemia salina and effect on the hatching of betta splendens eggs. **Ensaios e Ciência: C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 25, n. 5, p. 776-782. 2022.
- LUO X ; WANG Z ; MEK K; WANG X; LIU B; ZHENG H; YO X ; LI .F. Effect of co-application of wood vinegar and biochar on seed germination and seedling growth. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, p. 3934–3944, 2019.
- MACEDO, R.S ; TEIXEIRA W G ; LIMA H.N ; DE SOUZA A.C.G ; SILVA F.W.R.S, ENCINAS O.C; NEVES E.G. Amazonian dark earths in the fertile floodplains of the Amazon River, Brazil: an example of non-intentional formation of anthropic soils in the Central Amazon region. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 14, n. 1, p. 207-227, 2019.
- MARTINS, M. P. S. C ; LOPES A. F. S ; JEAN A ; SILVA K. J ; MARTINS M C. C. E; ROCHA M.M. Characterization of cowpea cultivars for grain size, color, and biofortification. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 1, p. 207-214, 2023.
- McCARL, B. A; PEACOCKE, C; CHRISMAN, R.; KUNG, C. C. Economics of biochar production, utilization and gas offsets. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed). **Biochar for Environmental Management: science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 341-356.
- MEDEIROS, L. C. D. **Efeito da velocidade de carbonização na composição química do extrato pirolenhoso da madeira de Eucalipto (Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis) e jurema preta (Mimosa tenuiflora (Wild.) Poir.)**. 2018. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Programa de Ciência Florestais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, Rio Grande do Norte, 2018.
- MIRANDA, N. O; PIMENTA, A. S; SILVA, G. G. C; ,CARVALHO, M. A. B; OLIVEIRA, E. A. M. Biochar Dosage and Granulometry Influencing Soil Density and Water Retention. **International Journal of Agriculture Sciences**, v.10, p.5153 - 5157, 2018.
- MIRANDA, N. O. MELO, I.G.C; PIMENTA, A. S; GÓES, G. B; SILVA, G. G. C; OLIVEIRA, E. M. M. Effect of biochar application on production parameters of two cowpea cultivars planted in succession in five soils from the Brazilian semiarid region. **Arabian Journal of Geosciences**, v.13, p. 506, 2020.
- MIYASAKA, S.; OHKAWARA, T.; UTSUMI, B. Ácido Pirolenhoso: uso e fabricação. Botucatu, 1999. (Boletim AgroEcológico, 14).

MIYASAKA, S ; OHKAWARA, T; NAGAI, K; YAZAKI, H; SAKITA, M.N.Técnicas de produção e uso do fino de carvão e licor pirolenhoso. In: I ENCONTRO DE PROCESSOS DE PROTEÇÃO DE PLANTAS. Controle Ecológico de Pragas e Doenças, Botucatu.

Resumo, Botucatu: FCA. p.161-179. 2001.

MORALES, M. M; SARTORI, W. W; SILVA, B. R; SPERA, S. T; MENDES, A. B. D; ALBUQUERQUE, E. P. A. Wood vinegar: chemical characteristics, phytotoxic effects, and impacts on greenhouse gas emissions. **Nativa**, v. 10, p. 400-409, 2022.

MOOSAVI, S. A; SHOKUH FAR, A; LAK, S; MOJADDAM, M; ALAVIFAZEL, M. Integrated application of biochar and bio-fertilizer improves yield and yield components of Cowpea under water-deficient stress. **Italian Journal of Agronomy**, v. 15, p. 94-101, 2020.

NOVOTNY, E. H.; MAIA, C. M. B. de F.; CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E. Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use: a critical review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 321-344, 2015.

OK, Y. S; UCHIMIYA, S. M; CHANG, S. X; BOLAN, N. **Biochar**: production, characterization, and applications. Boca Raton: CRC Press, 2016.

OLIVEIRA, A. W. F. de. **Irrigação com água salina na emergência e crescimento de plântulas feijão-caupi substratos**. 2019. 18 f. Artigo (Graduação em Agronomia). Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção-Ceara, 2019.

PAN, X.; ZHANG, Y.; WANG, X.; LIU, G. Effect of adding biochar with wood vinegar on the growth of cucumber. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY MATERIALS AND ENVIRONMENT ENGINEERING, 3, 2017. Bangkok, Thailand. **Anais [...]** Bangkok: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017. V. 61.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.7, p.761–768, 2012.

SABOYA, R. de C. C; BORGES, P. R. S; SABOYA, L. M. F; SIEBENEICHLER, S. C; XAVIER, G.R **Inoculação de rizóbio em feijão-caupi (Vigna Unguiculata (L.) Walp) em Latossolo Vermelho-Amarelo em Gurupi, TO**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 21 p. (Documentos / Embrapa Cerrados, 230).

SENA M, F. M; de ANDRADE, A. M ;FILHO,S. T; dos SANTOS F. R; PEREIRA, L.F.. Potencialidades do extrato pirolenhoso: práticas de caracterização. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 41–44, 29 maio 2014.

SILVA, I. C. B. DA; FERNANDES, L. A.; COLEN, F.; SAMPAIO, R. A. Growth and production of common bean fertilized with biochar. **Ciência Rural**, v. 47: 11, e20170220, 2017b.

SILVA, L. S. da et al. Physical properties of grains of cowpea genotypes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 3, p. 216-222, 2023.

SOHI, S. P. et al. Review of biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, v. 105, p. 47-82, 2010.

SILVA , M. K.A.G ; PIMENTA, A; DE SOUZA,E.C; NÓBREGA, R.C.S; SILVA S. I. S; LOURENÇO, Y.B.C; CAETANO V; DE MEDEIROS, DE MEDEIROS, C.D.Produção, composição e utilização do extrato pirolenhoso na agricultura. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3, 2017. Florianópolis.
Anais... Florianópolis, SBCTEM, 2017a.

SOMBRA, K. E; SOMBRA, K. E; SILVA, E.F; SILVA, T.S; VASCONCELO, A.A; FERREIRA, E.A; SANTOS, E.P.S; FREITAS, D.F; LAVÔR, W.K.B; SANTO, A. E; CUNHA, M.L. Biochar: Resgate de uma importante ferramenta no manejo de solos. **Extensão Rural em Foco**, v. 1, n. 17, p. 136-145, 2020.

SOUZA, J.V.L;SIMPLÍCIO, B.J; ORESCA D; SOUZA, J. C. G;JUNIOR B.C; DE OLIVEIRA A.C. Desenvolvimento inicial do feijão-caupi em resposta à fertilização nitrogenada e molibdica. **Revista Geama**, v. 9, n. 1, p. 11-17, 2023.

TIAN, X.; LI, C.; ZHANG, M.; WAN, Y.; XIE, Z.; CHEN, B. & LI, W. Biochar derived from corn straw affected availability and distribution of soil nutrients and cotton yield. **Plos One**, v. 13, n. 1, e0189924, 2018.

VALE, J. C. do; BERTINI, C.; BORÉM, A. **Feijão-caupi do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2017. 267 p.

VANOMARK, G. M. M. *et al.* Energy balance partitioning and evapotranspiration from irrigated muskmelon under semi-arid conditions. **Bragantia**, v. 77, p. 168–180, 2018.

WITITSIRI, S. Production of wood vinegars from coconut shells and additional materials for control of termite workers, *Odontotermes* sp. and striped mealy bugs, *Ferrisia virgata*. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, vol. 33 (3), p. 349-354, 2011.

YATAGAI, M.; NISHIMOTO, M.; HORI, K. Termiticidal activity of wood vinegar, its components and their homologues. **Journal Wood of Science**, vol. 48, p. 338-341, 2002.

YUE,Y ; LIN,Q; LI,G; ZHAO, X ;CHEN, H.Biochar Amends Saline Soil and Enhances Maize Growth: Three-Year Field Experiment Findings. **Agronomy**, v. 13, 1111, 2023.

ZANETTI,M; CAZETTA,J.O; JÚNIOR,D.M; DE CARVALHO, S.A Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação do porta-enxerto limoeiro cravo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, p. 508-512, 2003.

ZHU, K ;GU, S; LIU, J; LUO,T; KHAN, Z; ZHANGK; HU,L.Wood vinegar as a complex growth regulator promotes the growth, yield, and quality of rapeseed. **Agronomy**, v. 11, 510, 2021.