

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE *BIOCHAR* DE RESÍDUOS
ORGÂNICOS E SEUS EFEITOS COMO COMPONENTE DE SUBSTRATO PARA
PRODUÇÃO DE MUDAS**

MARIA CINTIA SILVA DE FREITAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

RIO BRANCO-AC, BRASIL
FEVEREIRO DE 2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE *BIOCHAR* DE RESÍDUOS
ORGÂNICOS E SEUS EFEITOS COMO COMPONENTE DE SUBSTRATO PARA
PRODUÇÃO DE MUDAS**

MARIA CINTIA SILVA DE FREITAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal do Acre, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.
Orientador: Prof. Dr. Paulo André Trazzi

RIO BRANCO-AC, BRASIL
FEVEREIRO DE 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ- REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL - PPGCIFLOR



ATA DE SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MARIA CINTIA SILVA DE FREITAS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO, STRICTO SENSU, EM CIÊNCIA FLORESTAL, DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE.

Às quatorze horas do dia vinte e oito de fevereiro de 2025, realizou-se, de forma online, por meio da plataforma “Google Meet”, a Sessão Pública de Defesa de Dissertação, intitulada: **“Caracterização físico-química de biochar de resíduos orgânicos e seus efeitos como componente de substrato para produção de mudas”**, de autoria da mestranda **Maria Cintia Silva de Freitas**, discente do Programa de Pós - graduação em Ciência Florestal, da Universidade Federal do Acre - UFAC, em nível de Mestrado. Na ocasião, a Banca Examinadora esteve constituída pelos membros: **Prof. Dr. Paulo André Trazzi (Presidente – orientador – CCBN - UFAC); Prof. Dr. Felipe Coelho de Souza (Membro Interno - CCBN - UFAC); Dr. Lucas Graciolli Savian (Membro Externo - UFSM)**. Logo após a exposição oral, houve arguição pelos Examinadores e, ao final da arguição, reaberta a sessão pública, a discente foi considerada **APROVADA**, pela Banca Examinadora. E, ao término, foi lavrada a presente Ata, que será assinada pelos avaliadores.

Documento assinado digitalmente



PAULO ANDRÉ TRAZZI
Data: 10/03/2025 19:46:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Dr. Paulo André Trazzi
Presidente – orientador – CCBN - UFAC

Documento assinado digitalmente



FELIPE COELHO DE SOUZA
Data: 10/03/2025 20:07:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Felipe Coelho de Souza
Membro Interno - CCBN – UFAC

Documento assinado digitalmente



LUCAS GRACIOLLI SAVIAN
Data: 10/03/2025 19:52:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Lucas Graciolli Savian
(Membro Externo - UFSM)

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

F866c Freitas, Maria Cintia Silva de, 2002-
Caracterização físico-química de biochar de resíduos orgânicos e seus efeitos
como componentes de substrato para produção de mudas / Maria Cintia Silva de
Freitas; Orientador: Prof. Dr. Paulo André Trazzi – 2025.
57 f.: il.; 30 cm.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência
Florestal da Universidade Federal do Acre, requisito para obtenção do título de
Mestre.

1. Biocarvão - Amazônia. 2. Pirólise. 3. Reaproveitamento. 4. Resíduos
agroindustriais. I. Trazzi, Paulo André (orientador). II. Título.

CDD: 543

Bibliotecário: Marcelino G. M. Monteiro CRB-11º/258.

*Dedico à garota que se perdeu nessa
jornada: você que dorme pelos seus sonhos,
tudo bem descansar agora.*

AGRADECIMENTOS

Durante essa jornada, pude coletar diversos ensinamentos, tanto acadêmicos quanto pessoais. Muitas pessoas foram imprescindíveis para que eu pudesse concluir essa etapa, que, em algum momento, se tornou tão excruciante quanto gratificante. A elas, eu gostaria de expressar meu agradecimento e minha gratidão.

Agradeço a vocês, que me deram um motivo para levantar da cama e viver. Sem suas palavras, eu definitivamente não estaria aqui para concluir essa etapa da minha vida. Vocês deram um significado à minha existência e me fizeram me apaixonar novamente pela minha área.

Agradeço a você, que me ouviu todas as segundas-feiras à tarde e me ajudou a racionalizar esse processo, colocando em perspectiva minha pesquisa científica. Obrigado por ter me ajudado durante esse percurso, pois sei que, sem sua intervenção, eu nunca teria escrito uma única palavra desta tese.

Agradeço a vocês, família, que foram meus maiores apoiadores e minha motivação diária, mesmo quando eu estava fisicamente distante. Agradeço às pessoas que torceram por mim e acreditaram em mim, mesmo quando nem eu mesmo o fazia. Muito obrigado ao meu irmão, que me fez companhia, esteve comigo em cada etapa do meu experimento e me segurou quando eu não conseguia me levantar sozinha.

Agradeço a vocês, que estiveram disponíveis mesmo quando eu os afastei continuamente, e que me deram seu tempo de qualidade para que eu pudesse concluir minha pesquisa. Obrigado a todos os meus amigos, que me viram e me ajudaram quando mais precisei. Vocês sabem como tenho dificuldade em pedir ajuda, então obrigado por estarem lá, mesmo quando eu nem admitia que precisava.

Agradeço ao meu orientador por não ter desistido de mim, mesmo quando desejou fazê-lo, pois seu voto de confiança foi o que me motivou e me permitiu concluir esse ciclo. Agradeço também a todas as instituições públicas que me forneceram os subsídios fundamentais para que eu concluísse esse processo: Viveiro da UFAC, Viveiro da Floresta, FUNTAC e EMBRAPA. Seja com insumos ou capital intelectual, vocês tornaram possível esta dissertação e, portanto, a conclusão de mais esse degrau acadêmico.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	01
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	03
2.1 ASPECTOS GERAIS DO <i>BIOCHAR</i>	03
2.2 PIRÓLISE E PRODUÇÃO DO <i>BIOCHAR</i>	06
2.3 BIOMASSA PARA PRODUÇÃO DE <i>BIOCHAR</i>	08
2.4 <i>BIOCHAR</i> EM SUBSTRATO PARA MUDAS.....	10
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	12
 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ANÁLISE IMEDIATA DE <i>BIOCHARS</i> PRODUZIDO A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS: ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO E PROPRIEDADES ESTRUTURAIS.....	
1. INTRODUÇÃO.....	18
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
2.1 PRODUÇÃO DO <i>BIOCHAR</i>	19
2.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO <i>BIOCHAR</i>	21
2.3 CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR DO <i>BIOCHAR</i>	24
2.4 ANÁLISE DE DADOS.....	24
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
3.1 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA.....	26
3.2 ANÁLISE DE <i>BIOCHARS</i> COMO COMPONENTES DE SUBSTRATO.....	29
4. CONCLUSÃO.....	35
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
 <i>BIOCHAR</i> DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATOS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>HANDROANTHUS IMPETIGINOSUS</i>.....	
1. INTRODUÇÃO.....	42
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	44
2.1 CARACTERIZAÇÃO INICIAL CARACTERIZAÇÃO INICIAL DOS <i>BIOCHARS</i>	44
2.2 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	44
2.3 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS.....	45
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47

4. CONCLUSÃO.....	52
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

1.INTRODUÇÃO GERAL

A crescente demanda por recursos naturais, aliada à geração excessiva de resíduos agroflorestais, tem gerado preocupações quanto a sustentabilidade ambiental e a gestão desses resíduos. No contexto da ciência florestal, a busca por soluções que promovam o uso eficiente de resíduos agroflorestais torna-se essencial para mitigar os impactos ambientais e fomentar práticas sustentáveis (Trazzi et al., 2018). Uma abordagem promissora para esse desafio é a produção de *biochar*, um material rico em carbono obtido pela pirólise da biomassa (Lehmann; Joseph, 2012). O *biochar* tem demonstrado potencial para diversas aplicações nos âmbitos ambiental, agrícola e industrial.

Os resíduos agroflorestais representam uma fonte abundante e renovável de matéria-prima para a produção de *biochar* (Dias Júnior et al., 2022). A valorização desses resíduos não apenas contribui para a redução do desperdício, mas também promove a sustentabilidade ao transformar materiais subutilizados em produtos de maior valor agregado (Kraus et al., 2022). Dessa forma, a utilização eficiente desses resíduos se apresenta como uma estratégia viável para minimizar impactos ambientais e gerar benefícios econômicos.

A incorporação de *biochar* no solo contribui significativamente para o sequestro de carbono, uma vez que o carbono presente no *biochar* é altamente recalcitrante, permanecendo no solo por longos períodos. Isso auxilia na mitigação das mudanças climáticas, reduzindo a quantidade de CO₂ na atmosfera (Woolfe et al., 2016). Além disso, o uso do *biochar* pode diminuir a necessidade de fertilizantes químicos, proporcionando vantagens econômicas e reduzindo o impacto ambiental associado ao uso excessivo desses insumos. Esse material atua como uma reserva de nutrientes de liberação lenta, favorecendo a nutrição das plantas ao longo do tempo (Glaser et al., 2002).

A produção de *biochar* envolve uma série de variáveis, incluindo o tipo de biomassa utilizada e as condições do processo produtivo, como temperatura, atmosfera, tempo e taxa de aquecimento (Luo et al., 2016). Essas variáveis influenciam diretamente as propriedades do produto, tornando essencial a escolha adequada da matéria-prima. Dessa maneira, é possível produzir *biochar* a partir de diversas fontes de biomassa, cada uma com atributos e especificidades distintas (Pereira et al., 2016).

Diante desse contexto, a presente pesquisa tem como objetivo geral caracterizar as propriedades físico-químicas dos *biochars* produzidos a partir dos resíduos de casca de castanha, casca de cupuaçu e caroço de açaí, avaliar sua aplicabilidade como componente de substrato na produção de mudas de *Handroanthus impetiginosus* bem como, identificar possíveis correlações entre as propriedades físico-químicas do *biochar* e sua eficácia no crescimento inicial dessa espécie

No primeiro capítulo buscando compreender como a composição química e estrutural da biomassa influencia nas características finais do produto foram realizadas análises laboratoriais para os 3 tipos de *biochars* onde foram determinados análise química imediata e análise física. No segundo capítulo foi conduzido um experimento em viveiro buscando entender como o processo produtivo e as suas características resultantes influenciaram no desenvolvimento da espécie florestal.

A integração entre os métodos utilizados nos capítulos possibilitou uma compreensão mais abrangente sobre o potencial do *biochar* produzido a partir dos resíduos da agroindústria amazônica, contribuindo para a formulação de estratégias sustentáveis de reaproveitamento de resíduos e novas composições de substrato.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ASPECTOS GERAIS DO BIOCARVÃO

Biochar é considerado um material sólido, rico em carbono, obtido a partir da carbonização de qualquer fonte de biomassa em pouco ou nenhum oxigênio, processo denominado pirólise (Tang et al., 2016). Durante esse processo de oxidação-redução uma parte da biomassa é reduzida a carbono e a outra parte é oxidada e hidrolisada, dando origem a fenóis, carboidratos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos (Rocha et al., 2004).

Em termos gerais, os materiais orgânicos são transformados em três estados: gasoso, líquido e sólido, e suas proporções variam de acordo com a biomassa e as condições de pirólise utilizadas (Mota, 2020). Assim as características do produto dependem da matéria prima usada e do método de processamento a que foi submetido a biomassa inicial (Brick; Lyutse, 2010).

A transformação de resíduos orgânicos em *biochar* através da pirólise para posterior aplicação no solo tem sido estudada, especialmente devido a semelhança encontrada no produto com a “Terra Preta de Índio” - TPI, um solo antropogênico fértil de regiões amazônicas (Lehmann; Joseph 2009). A TPI, possui alta fertilidade caracterizada pelos elevados teores de C orgânico, bem como de P, Ca e de Mg, devido à presença de material orgânico decomposto, em parte na forma de carvão residual de fogueiras domésticas e da queima da vegetação para uso agrícola do solo (Kern et al., 2019). A redescoberta dessas práticas levou a um intenso interesse científico nas últimas décadas, impulsionado pela necessidade de desenvolver soluções sustentáveis para o manejo agrícola e a mitigação dos impactos ambientais (Conz, 2015).

Do ponto de vista estrutural, o *biochar* possui elevada porosidade, o que contribui para o aumento da capacidade de retenção de água no solo e para a criação de microhabitats para microrganismos benéficos (Lopes et al., 2019). A alta área superficial do material favorece a adsorção de nutrientes essenciais, como fósforo e potássio, permitindo um fornecimento mais eficiente para as plantas e reduzindo a necessidade de fertilizantes sintéticos (Colantoni et al., 2016). Além disso, sua estabilidade química impede a rápida degradação da matéria orgânica, conferindo um

efeito positivo prolongado na melhoria das propriedades físico-químicas do solo (Velázquez Machuca et al., 2019).

O impacto do *biochar* na estrutura e fertilidade do solo é objeto de pesquisa em diversas regiões do mundo, demonstrando potencial para melhorar a produtividade agrícola em solos pobres em nutrientes (Souchie et al., 2011). Em regiões semiáridas, por exemplo, sua aplicação apresenta resultados promissores na retenção de umidade e na redução da lixiviação de nutrientes, promovendo um melhor desenvolvimento das culturas (Noyce et al., 2017). Adicionalmente, experimentos com diferentes tipos de *biochar* indicam que a escolha da matéria-prima e das condições de pirólise são fatores determinantes para a eficácia do material no aumento da fertilidade do solo (McElligott; Coleman, 2011).

Sua incorporação no solo induz mudanças nas propriedades físicas como: textura, estrutura, porosidade, diâmetro dos poros, distribuição granulométrica e densidade (Petter, 2010). Devido às características típicas do *biochar*, incluindo alta porosidade, baixa densidade e alta superfície específica, sua aplicação geralmente diminui a densidade do solo, aumenta a porosidade e a capacidade de retenção de água (Sankura et al., 2014; Chang et al., 2017). A estrutura altamente porosa e área superficial conferem propriedades únicas que favorecem a retenção de nutrientes e água no solo, além de uma estabilidade química superior ao carvão tradicional (Wijaya et al., 2022).

Soletti et al, (2022) mencionam que o *biochar* possui uma estrutura aromática, o que o torna mais recalcitrante que muitos outros tipos de matéria orgânica. Desta forma, a oxidação ocorre de forma lenta no solo, o que leva à produção de grupos funcionais negativos na superfície, como o grupo carboxílico e fenólico (Chen et al. 2014). De acordo com Petter (2010), à medida que ocorre a oxidação parcial das bordas das estruturas aromáticas do *biochar*, novos sítios eletroquímicos são formados, aumentando sua capacidade de retenção de nutrientes e de interação com compostos orgânicos e íons presentes no solo ou no substrato, o que contribui para a melhoria das propriedades químicas e biológicas do meio de cultivo.

Em termos estruturais, a alta porosidade do *biochar* confere a ele uma capacidade de adsorção superior à de outros produtos derivados da biomassa, como o carvão ativado (Souchie et al., 2011). No entanto, ao contrário do carvão ativado, que é tratado quimicamente para maximizar sua capacidade de remoção de contaminantes específicos, o biocarvão mantém uma estrutura mais complexa, com

diferentes tipos de microporos e mesoporos que favorecem interações com microrganismos e partículas do solo (Xu et al., 2023). Essa característica tem sido estudada em pesquisas recentes, que demonstram o papel do *biochar* na promoção da microbiota do solo e na melhoria do desenvolvimento radicular das plantas (Kayama; Abebe; Birhane, 2021).

Estudos realizados em ambiente controlado indicam que o efeito positivo do *biochar* sobre os atributos do solo estão relacionados principalmente a mudanças no pH, à capacidade de troca de cátions (CTC), carbono orgânico e, em alguns casos, à liberação direta ou indireta de nutrientes (Luo et al., 2016). A presença das macromoléculas aromáticas de lignina confere um caráter hidrofóbico aos *biochars* podendo, assim, influenciar positivamente na retenção de nutrientes necessários ao desenvolvimento e crescimento de plantas e microorganismos (Bueno, 2017).

Diante do avanço das pesquisas e da crescente demanda por soluções sustentáveis, o *biochar* se consolida como um recurso estratégico para a agricultura e o meio ambiente (Velázquez Machuca et al., 2019). Seu potencial de aplicação abrange desde a melhoria da fertilidade do solo até a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, tornando-se um elemento essencial na construção de práticas agrícolas mais resilientes e ambientalmente responsáveis (Juriga; Simanský, 2018). Assim, o contínuo desenvolvimento de estudos e políticas públicas voltadas para sua adoção pode representar um passo significativo na busca por uma economia de baixo carbono e maior sustentabilidade global (Wijaya et al., 2022).

As pesquisas sobre o *biochar* têm avançado significativamente nas últimas décadas, com estudos demonstrando eficácia em diversos contextos ambientais e agrícolas (Xu et al., 2023). No entanto, desafios ainda persistem, como a padronização dos processos de produção e a avaliação de seus impactos a longo prazo no ecossistema (Araujo, 2016). A variabilidade das matérias-primas utilizadas na fabricação do *biochar* e as diferentes condições de pirólise afetam diretamente as propriedades físico-químicas, tornando essencial o desenvolvimento de regulamentações que garantam sua aplicação segura e eficiente (Kayama; Abebe; Birhane, 2021).

A composição química altamente variável é dependente da matéria-prima utilizada e das condições de pirólise, o que influencia diretamente sua eficiência na adsorção de nutrientes e poluentes (Araujo, 2016). Marcelino et al., (2020) mencionam estudos que relatam o potencial do biocarvão nas propriedades do solo, no entanto, ele

ênfatiza que os efeitos no solo, porém, variam com os tipos solos e *biochar*. Em produção de mudas que se utiliza substratos comerciais como base (Freitas, 2019), não há variação no tipo de solo, porém dependendo da matéria-prima utilizada para produção de *biochar* as características do produto podem variar, sendo necessária uma avaliação cautelosa dessa biomassa.

2.2 PIRÓLISE E PRODUÇÃO DO *BIOCHAR*

A quantidade e o tipo de nutrientes presentes no *biochar* estão relacionados ao tipo de matéria-prima, da temperatura e da duração da pirólise, indicando que diferentes tipos de *biochar* afetarão de maneira diferente a disponibilidade dos nutrientes (Lei; Zhan, 2013). A pirólise é um processo termoquímico que se destaca na conversão de biomassa em produtos energéticos e ambientais, sendo amplamente utilizada para a produção de *biochar* (Wijaya et al., 2022).

Esse processo ocorre na ausência ou em uma quantidade limitada de oxigênio, resultando na decomposição térmica da matéria orgânica e gerando três produtos principais: *biochar*, bio-óleo e gases não condensáveis (Conz, 2015). A eficiência e as propriedades do *biochar* produzido variam significativamente de acordo com o tipo de pirólise empregado, sendo classificados em pirólise lenta, rápida e intermediária, cada uma com condições operacionais específicas que influenciam a composição e aplicabilidade do material final (Colantoni et al., 2016).

A pirólise lenta é caracterizada por taxas de aquecimento reduzidas, geralmente inferiores a 10°C/min, e tempos de residência prolongados, que podem variar de algumas horas a vários dias (Oliveira et al., 2023). Esse método favorece a maximização da produção de *biochar*, pois promove a degradação térmica controlada da biomassa sem a volatilização excessiva dos componentes orgânicos (Mcelligott; Coleman, 2011). Em contrapartida, a pirólise rápida ocorre em temperaturas elevadas, entre 500°C e 1000°C, com tempos de residência curtos, na ordem de segundos, sendo mais eficiente para a obtenção de bio-óleo e gases combustíveis, mas com menor rendimento de *biochar* (Oliveira, 2023). A pirólise intermediária, por sua vez, apresenta características mistas entre as duas anteriores, resultando em uma distribuição equilibrada dos produtos, sendo indicada para aplicações onde se busca tanto a produção de *biochar* quanto de bio-óleo (Singh et al., 2010).

A temperatura e o tempo de residência exercem papel fundamental na qualidade e nas propriedades físico-químicas do *biochar*, influenciando sua estabilidade, área superficial, capacidade de retenção de água e adsorção de nutrientes (Araujo, 2016). Em temperaturas mais baixas, entre 300°C e 500°C, o *biochar* retém maior quantidade de compostos orgânicos voláteis, o que pode beneficiar sua aplicação como condicionador de solo devido à presença de substâncias húmicas e matéria orgânica recalcitrante (Kookana et al., 2011).

Em contrapartida, temperaturas superiores a 600°C resultam em um *biochar* altamente carbonizado, com maior superfície específica e porosidade, características que favorecem sua aplicação em processos de adsorção de contaminantes e remediação ambiental (Nakashima, 2016). O tempo de residência também desempenha um papel crítico, pois tempos mais longos tendem a reduzir a presença de compostos voláteis e aumentar a estabilidade estrutural do *biochar*, tornando-o mais resistente à decomposição microbológica (Souchie et al., 2011).

Os métodos de produção do *biochar* podem ser divididos entre sistemas artesanais e industriais, cada um apresentando vantagens e desafios distintos (Bridgwater, 2005; Shenbagavalli e Mahimairaja, 2012). Os fornos artesanais são estruturas rudimentares, frequentemente construídas a partir de materiais de baixo custo e utilizados em comunidades rurais para a conversão de resíduos agrícolas em *biochar* (Lopes et al., 2019). Embora apresentem custos operacionais reduzidos, esses sistemas apresentam menor controle sobre as condições de pirólise, resultando em *biochars* com elevada variabilidade em termos de composição química e propriedades estruturais (Conz, 2015). Em contrapartida, os fornos industriais são projetados para oferecer um controle mais preciso sobre os parâmetros operacionais, como temperatura, taxa de aquecimento e tempo de residência, permitindo a produção de *biochars* de qualidade padronizada e maior eficiência energética (Colantoni et al., 2016).

A escolha entre métodos artesanais e industriais depende da finalidade do *biochar* produzido e da viabilidade econômica da tecnologia empregada (Velázquez Machuca et al., 2019). Em contextos agrícolas, onde a demanda por *biochar* é crescente devido aos seus benefícios para a fertilidade do solo, os métodos artesanais ainda são amplamente empregados, principalmente em países em desenvolvimento (Xu et al., 2023).

Estudos apontam que a aplicação agrícola pode melhorar significativamente a retenção de nutrientes e a capacidade de troca catiônica dos solos, aumentando a produtividade das culturas e reduzindo a necessidade de fertilizantes sintéticos (Dittakit et al., 2023). No entanto, é essencial considerar que a variabilidade nas condições de pirólise pode resultar em *biochars* com características distintas, exigindo estudos detalhados para otimizar sua aplicação em diferentes contextos ambientais e agrônômicos (Wijaya et al., 2022).

2.3 BIOMASSA PARA PRODUÇÃO DE *BIOCHAR*

A biomassa utilizada na produção de *biochar* exerce influência determinante sobre suas propriedades físico-químicas e sua aplicabilidade em diferentes setores, incluindo agricultura, remediação ambiental e geração de energia. A seleção da biomassa é um fator crítico, uma vez que a composição química, a estrutura celular e o teor de lignina, celulose e hemicelulose impactam diretamente as características finais do *biochar* (Conz, 2015). Algumas biomassas representam alternativas promissoras, pois apresentam teores elevados de carbono fixo e complexidade estrutural que favorecem a estabilidade do material durante a pirólise (Lopes et al., 2019).

O uso de resíduos orgânicos provenientes da atividade agrícola no processo de produção tem se mostrado uma alternativa para sua destinação, reduzindo a problemática ambiental decorrente da má gestão dos mesmos (Borges et al., 2020). Além disso, o uso desses resíduos orgânicos justifica-se não apenas pelos aspectos de reciclagem de nutrientes no meio e aumento no rendimento das culturas, mas também, pelo aproveitamento de uma fonte renovável de energia (Factor et al., 2008).

Rezende et al. (2016), conduziram um estudo em que a produção de *biochar* foi realizada a partir do pó de serra de espécies nativas exploradas no manejo florestal, e Fogaça (2019) que incorporou em experimento *biochar* de produção própria com chips de eucalipto pirolisados a 450°C. Araújo (2016), produziu *biochar* de lodo de esgoto e observou efeitos positivos no crescimento inicial de mudas e uma melhor micorrização e fixação biológica de nutrientes. Torres (2019) e Soares (2019), produziram *biochar* com caroço de açaí para uso em mudas de paricá, e enquanto outros sugeriram o uso da casca de castanha até o momento esse resíduo ainda não foi utilizado em literatura (Silva et al., 2021).

Análises indicam que *biochars* ricos em lignina possuem maior resistência à oxidação e maior tempo de permanência no solo, conferindo benefícios prolongados em sistemas agrícolas (Colantoni et al., 2016). Em contrapartida, aqueles cuja origem é fibrosa, apresentam degradação mais rápida, o que pode demandar aplicações frequentes para manutenção de seus efeitos no solo (Souchie et al., 2011). Assim, a longevidade do biocarvão deve ser considerada ao se definir a aplicação em diferentes contextos ambientais e agronômicos (Noyce et al., 2017).

A comparação dessas biomassas com outras matérias-primas comumente estudadas evidencia diferenças significativas na composição química e nas propriedades estruturais do *biochar* resultante. Resíduos de biomassas de origem lenhosa são amplamente empregadas devido elevado teor de lignina, que promove maior estabilidade térmica e menor degradação estrutural (Kayama, Abebe; Birhane, 2021). Oliveira (2012) constatou que o uso de madeiras com teor de umidade acima de 30% aumenta a exigência de energia (fase endotérmica) necessária à evaporação da água e que, para isto, uma parte maior da madeira enfiada será consumida, além disso, uma madeira com muita umidade afeta diretamente o rendimento e qualidade do carvão vegetal.

Em contrapartida, biomassas fibrosas, como resíduos de cana-de-açúcar, tendem a gerar *biochars* com maior teor de cinzas e menor resistência mecânica, fatores que podem comprometer sua aplicação em determinadas condições de solo (Colantoni et al., 2016). Assim, a escolha da matriz orgânica deve ser criteriosa, considerando não apenas a disponibilidade da biomassa, mas também as características desejáveis do *biochar* para usos específicos (Souchie et al., 2011).

A composição química inicial das biomassas utilizadas na produção de *biochar* também influencia a retenção de macronutrientes essenciais, como fósforo, potássio e nitrogênio, fatores determinantes para sua aplicabilidade agrícola (Noyce et al., 2017). Enquanto isso, a estrutura física também desempenha um papel essencial em sua aplicabilidade, sendo influenciada pelo tamanho dos poros e pela área superficial específica. Estudos revelam que *biochars* provenientes de resíduos agrícolas apresentam maior heterogeneidade estrutural, enquanto aqueles derivados de biomassa lenhosa tendem a possuir uma distribuição mais uniforme dos poros (Velázquez Machuca et al., 2019).

No contexto da sustentabilidade, a utilização de resíduos agroindustriais na produção de *biochar* apresenta vantagens ambientais significativas. O

aproveitamento desses descartes para a geração de subprodutos reduz a geração de resíduos sólidos e promove a economia circular, contribuindo para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (Mcelligott; Coleman, 2011). Nesse sentido, uma forma de reaproveitar os resíduos derivados das atividades agrícolas é a produção de substratos para mudas (Ribeiro et al., 2020).

2.4 BIOCHAR EM SUBSTRATO PARA MUDAS

Substrato para a produção de mudas, corresponde à matéria-prima ou mistura de matérias-primas que substituem o solo na etapa inicial do cultivo, servindo de suporte para as mudas e ancoragem para as raízes e possibilitando o fornecimento de quantidades equilibradas de ar, água e nutrientes (Zorzeto, 2011). Várias técnicas são utilizadas para a obtenção de mudas de boa qualidade como: a seleção genética, uso de sementes de alto vigor, o tipo de recipiente, ambientes protegidos compatíveis para o desenvolvimento inicial, controle da irrigação, adubação suplementar e substrato adequado (Nicchio et al., 2020).

A escolha do substrato é considerada um dos principais fatores para produção de mudas, agregando maiores chances de sucesso em campo. A obtenção de mudas de melhor qualidade para a implantação de povoamentos florestais está diretamente ligada à maior produtividade e à qualidade final do produto (Trazzi et al., 2013). Mota (2020) explica que as condições de pirólise podem ser adaptadas de acordo com o produto desejado, mas as doses utilizadas também fornecem um ótimo parâmetro. Melo e Silva (2018), por exemplo utilizando substrato comercial (*Bioplant*) com concentrações diferentes de *biochar* (5%, 10%; 15% e 25%) oriundo de pirólise do endocarpo e exocarpo do cafeeiro (*Coffea arabica*), obtiveram melhor resultado no tratamento que utilizava - *Bioplant* com 10% de *biochar*. Apesar de muitos experimentos utilizarem apenas substrato comercial como base, alguns estudos utilizam outras composições de testagem. O *biochar* acrescido de N e P, apresenta potencial de uso para a produção de mudas de qualidade de *Anadenanthera colubrina* (Lima et al., 2016).

Seu uso como condicionante de substrato aumentou significativamente os parâmetros de crescimento de *Tachigali vulgaris* (Souchie et al., 2011). além disso quando ativado quimicamente (injeção de vapor ao processo de pirólise) e incorporado ao substrato comercial, também melhorou o de desenvolvimento de *Tectona grandis* (Rezende et al., 2016). O tipo de substrato exerce forte influência no

desenvolvimento das mudas, pois suas características físico-químicas e biológicas afetam a umidade, disponibilidade de água e nutrientes (Barreto et al., 2018).

Nesse sentido, Siqueira (2022), em um experimento utilizando *biochar* em mudas de espécies florestais indicou que a adição de 30% de *biochar* na composição de substratos para produção de mudas de *Tabebuia aurea* e de 20% para as mudas de *Handroanthus impetiginosus* e *Pityrocarpa moniliformis*, proporcionaram um aumento tanto na disponibilidade de água, quanto de nutrientes. Em espécies florestais nativas, o uso de *biochar* tem se mostrando eficiente, como na produção de mudas de *Genipa americana* e *Dimorphandra mollis* (Canesin et al., 2012).

Entretanto, há resultados controversos, como constatados por Pierezan et al. (2012), que trabalhando com *Hymenaea courbaril*, verificam que o uso desse bioestimulante em elevadas doses inibiu a emergência e o desenvolvimento das mudas. Para espécies de eucalipto, um estudo encontrou que tratamentos com 75% e 100% de *biochar* ativado houve os melhores resultados para o crescimento em altura e diâmetro do coleto de mudas (Barros et al., 2016). Outro estudo, porém, não registrou diferenças quanto à qualidade de mudas de *E. dunnii*, quando carvão foi adicionado ao substrato (Sass et al., 2018).

Ainda há lacunas na pesquisa sobre o uso de *biochar* em substratos para mudas, especialmente para espécies nativas da Amazônia. Estudos são limitados quanto à sua interação com solos amazônicos, impactos nas propriedades físico-químicas do substrato e efeitos no desenvolvimento inicial das plantas. A falta de dados específicos dificulta a formulação de protocolos eficientes, destacando a necessidade de pesquisas que considerem as particularidades ecológicas e agronômicas da região.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, D.D.; **Efeito do biochar de lodo de esgoto no crescimento inicial de mudas de *Erythrina velutina***. 79p. Dissertação (Mestrado em ciências florestais) – Universidade de Brasília, 2016.

BARRETO, M. B. **Adsorção de metais em biocarvão: uma revisão de estudos envolvendo o uso de radiotraçadores**. 2018. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química Industrial) - Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.

BARROS, D. L.; REZENDE, F. A.; MAIA, C. M. B. F. Uso de *biochar* ativado na composição de substratos para mudas de eucalipto. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 10., 2016, Campinas. **Novos materiais, novas culturas: caderno de resumos**. Campinas: IAC, 2016

BORGES, M.M.R.; ROCHA, L.A.L.; DUARTE, A.C.; ARAÍJO, D.G.; O uso de resíduos agroflorestais no desenvolvimento de plântulas de feijão de corda. **I congresso online internacional de sementes crioulas e agrobiodiversidade**. Setembro, 2020.

BRIDGWATER, A.V. Biomass for energy. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Vol. 86, p.1755-1768, 2006.

BRICK, S. & LYUTSE, S. Biochar: Assessing the promise and risks to guide US policy. **Natural Resources Defense Council**, 2010.

BUENO, C.C.; **biochar: caracterização estrutural e interações com nutrientes e microorganismos pedológicos**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia. Sorocaba, 2017.

CANESIN, Â. et al. Bioestimulante no vigor de sementes e plântulas de faveiro (*Dimorphandra mollis Benth*). **Cerne**, Lavras v. 18, n. 2, p. 309-315, 2012.

CHANG, L.; WANG, B.F.; LIU, X. H.; CALLAHAM, M.A.; GE, F. Recovery of collembola in pinus tabula e formis plantations. **Pedosphere**, v. 27, p. 129–137, 2017.

CHEN, Y.; CHEN, Y. X.; HUANG, X.; HU, B.; SHI, D. Z.; WU, W. X. Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on nitrogen conservation and heavy metals immobility during pig manure composting. **Chemosphere**, Elsevier, Amsterdam, v. 78, n. 9, p. 1177-1181, 2014.

CONZ, R.F.; **caracterização de materias-primas e biochars para aplicação na agricultura**. Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2015.

COLANTONI, A. et al. Characterization of biochars produced from pyrolysis of pelletized agricultural residues. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 64, p. 187-194, 2016.

DIAS, J.M.C.S; SOUZA, D.T; BRAGA, M; ONOYAMA, M.M; MIRANDA, C.H.B; BARBOSA, P.F.D et al. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. Brasília: **Embrapa Agroenergia**, 2012.

DITTAKIT, P. et al. Properties of biochar from Coconut Waste and Application in Agriculture. **ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports**, v. 26, n. 1, p. 52-58, 2023.

FERREIRA, K.D.R.; **Características agronômicas do feijão-caupi e bioindicadores de qualidade do solo após aplicação de biochar de resíduos animais**. 45f. Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias. Montes claros, 2022.

FOGAÇA, A. M. **Aplication of biochar and impact on the soil physical quality and morphophysiological characteristics of *eucalyptus***. 2019. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.

FREITAS, D.A.; ALVARENGA, A.C.; DURAES, A.F.S.; Addition of sewage sludge to the commercial substrate for the production of seedlings of forest species. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.2 (n.5), 1761–1767, 2019.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soil in the tropic with charcoal a review. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, n. 4, p. 219-230. 2002.

JURIGA, Martin; ŠIMANSKÝ, Vladimír. Effect of biochar on soil structure—Review. **Acta Fytotech. Zootech**, v. 21, p. 11-19, 2018.

KAYAMA, M.; ABEBE, B.; BIRHANE, E.; Effects of Biochar on the Growth of *Vachellia etbaica* and *Faidherbia albida* Planted in Tigray, Northern Ethiopia. **Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ**, v. 55, n. 4, p. 367-378, 2021.

KERN, D. C.; LIMA, H. P.; COSTA, J. A.; LIMA, H. V.; RIBEIRO, A. B.; MORAES, B. M., KAMPF, N. Terras pretas: approaches to formation processes in a new paradigm. **Geoarchaeology**, v. 32, p. 694– 706, 2017.

KOOKANA RS, SARMAH AK, VAN ZWIETEN L, KRULL E, SINGH B. Biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences. **Advances in Agronomy** 112, 103–143, 2021.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and technology**. Routledge: London, 2012.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems - A review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.11, n.2, p.403–427, 2006.

LEI, O.Y.; ZHANG, R.D. Effects of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties. **Journal of Soils and Sediments**, v. 13, p. 1561–1572, 2013.

LIMA, S. L. et al. *Biochar* no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 120-131, 2016.

LOPES, D.A. et al. **Biocarvão de biossólido na composição de substratos para a produção de mudas florestais**. Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, 2019.

LUO, Y.; YU, Z.Y.; ZHANG, K.L.; XU, J.M.; BROOKES, P.C. The properties and functions of *biochars* in forest ecosystems. **Journal of Soils and Sediments**, v.16, p. 2005–2020, 2016.

MARCELINO, I.P.; LOSS, A.; ANDRADE, M.A.N.; Aspectos gerais do uso do *biochar* para sustentabilidade com ênfase aos atributos edáficos: a revisão. **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 9, n. esp., p. 301-319, mai. 2020.

MELO, E. I., & SILVA, L. F. V. *Biochar* como condicionador de substrato para produção de mudas de alface. **Revista Agropecuária Técnica**, 39 (2), 107- 111, 2018.

MOTA, M.F.C.; **Uso de *biochar* de eucalipto na produção de cana-de-açúcar**. Tese (doutorado) 68p. Área de concentração em produção vegetal. Universidade federal de Minas Gerais, Instituto de ciências agrárias. Montes claro, Junho 2020.

MCELLIGOTT, K. M.; COLEMAN, M. **Biochar Amendments to Forest Soils: Effects on Soil Properties and Tree Growth**. 2011. University of Idaho: Moscow, Idaho, USA.

NAKASHIMA, G. T. **Use of sugarcane trash for solid biofuel production: physicochemical characterization and influence of storage time**. 2016, p 59. Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2016.

NICCHIO, B.; CARDOZO, C. C.; VIEIRA, M. A. M. Efeitos de substratos na qualidade de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.25, n.1, p.1–6, 2020.

NOYCE, Genevieve L. et al. Phosphorus uptake and availability and short-term seedling growth in three Ontario soils amended with ash and biochar. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 97, n. 4, p. 678-691, 2017.

OLIVEIRA, E.L.; **Caracterização físico-química de biocarvões com potencial para condicionador de solo**. 84p. Trabalho de Conclusão de Curso (dissertação de mestrado profissional em ciências ambientais) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - Campus Serrinha Ba, 2023.

PEREIRA et.al. Substratos orgânicos na produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 2, p. 17-26, 2017.

PETTER, F.A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agrônômicos do seu uso em solos de cerrado**, Tese de Doutorado, UFGO, Goiás, 2010.

PIEREZAN, L. et al. Emergência de plântulas e crescimento de mudas de jatobá com uso de bioestimulante e sombreamento. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 127-133, 2012.

REZENDE, F.A.; NOVOTNY, E.H.; SOARES, J.R.; SOARES, A.; **Caracterização de biochar proveniente de resíduos madeireiros – RMN e RAMAN**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2016, Goiânia. Rumo aos novos desafios: [anais]. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016.

ROCHA, J.D.; PÉREZ, J.M.M.; CORTEZ, L.A.B. Aspectos teóricos e práticos do processo de pirólise de biomassa, curso internacional “Energia na Indústria de Açúcar e Álcool” **UNIFEI**, Itajubá, 2004.

SASS, A. L.; SANTOS, D. E. C. dos; MAEDA, S.; MAIA, C. M. B. de F. Efeito de carvão vegetal em substratos para a produção de mudas de eucalipto. In: **ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA**, 4., 2018, Ribeirão Preto. Anais [...]. Brasília, DF: Embrapa; Colombo: Embrapa Florestas, 2018.

SANKURA, H.; LEMMA, B.; RAM, N. Effect of changing natural forest and wetland to other land uses on soil properties and stocks of carbon and nitrogen in south Ethiopia. **Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences**, v. 9, p. 259–265, 2014.

SHENBAGAVALLI, S.; MAHIMAIRAJA, S. Characterization and effect of biochar on nitrogen and carbon dynamics in soil. **International Journal of Advanced Biological Research**, 2: 249- 255, 2012.

SILVA, F.B.; AZEVEDO, L.A.M.; SILVA, E.R.; LIMA, J.S.P.; Política florestal no Acre 20 anos depois (2000–2018): análise de impacto na produção de Castanha-da-Amazônia. **Scientia Naturalis**, v. 4, n. 5, p. 2273-2296, 2021.

SINGH B, SINGH BP, COWIE AL. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. **Australian Journal of Soil Research** 48, 516. 2010.

SIQUEIRA, E.S.; **Uso de biochar na composição de substratos para a produção de mudas florestais**. 64 f.: il. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Macaíba, RN, 2022.

SOARES, L.F.A.; **Biochar de caroço de açaí e resíduo agroflorestal no crescimento de mudas de paricá (*schizolobium Parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby)**. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, PA, 2019

SOUCHIE, F. F. et al. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* LG Silva & HC Lima. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 811-821, 2011.

SOLETTI, J.R.C.; CARVALHO, S.H.V.; BISPO, M.D.; SOLETTI, J.I.; TONHOLO, J.; produção de biofertilizante organomineral composto por *biochar*, torta industrial e NPK mineral. **chein** Minas gerais. Outubro, 2022.

TANG, X. F.; LIU, Y. G.; GU, Y. L.; XU, Y.; ZENG, G. M.; HU, X. J.; LIU, S. B.; WANG, X.; LIU, S. M.; LI, J. Biochar-based nano-composites for the decontamination of wastewater: A review. **Bioresource Technology**, v. 212, p. 318–333, 2016.

TORRES, L.M.; **Desenvolvimento de mudas de Paricá (*shizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) em biochar á 350°C de caroço de açaí e açaí triturado in natura**. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, PA, 2019.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; PASSOS, R. R.; GONÇALVES, E. O. Substratos de origem orgânica para produção de mudas de teca (*Tectona grandis* Linn. F.). **Ciencia Florestal**, v.23, n.3, p.401–409, 2013.

TRAZZI, P.A.; HIGA, A.R.; DIECKOW, J.; ÇMANGRICH, A.S.; HIGA, R.C.V.; *biochar*: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência florestal**. V. 28, n.2, 2018.

VELÁZQUEZ MACHUCA, Martha Alicia et al. Caracterización física y química de *biochar* de lodos residuales. **Terra Latinoamericana**, v. 37, n. 3, p. 243-251, 2019.

WIJAYA, Bangun Adi et al. Meranti (*Shorea* sp.) biochar application method on the growth of sengon (*Falcataria moluccana*) as a solution of phosphorus crisis. **Energies**, v. 15, n. 6, p. 2110, 2022.

XU, Peng et al. Progresso da pesquisa sobre os efeitos do *biochar* no ambiente do solo e na absorção e utilização de nutrientes da cultura. **Sustentabilidade**, v. 15, n. 6, p. 4861, 2023

ZORZETO, T.Q.; **Caracterização física e química de substratos para plantas e sua avaliação no rendimento do morangueiro (*fragaria* x *ananassa* duch)**. 110f. Dissertação (mestrado). Instituto Agrônomo pós-graduação. Programa agricultura tropical e subtropical. Campinas, São Paulo, 2011.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E DE *BIOCHARS* PRODUZIDO A PARTIR DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA AMAZÔNICA

Maria Cintia Silva de Freitas¹
Paulo André Trazzi²

RESUMO

Uma alternativa viável para o reaproveitamento dos resíduos da agroindústria amazônica é a produção de *biochar* para uso como substrato na produção de mudas. Esse produto é um carvão produzido a partir da pirólise de biomassa em alta temperatura e baixa concentração de oxigênio, que possui características favoráveis ao uso agrônomo. Esse estudo investiga as propriedades físico-químicas de *biochars* produzido a partir de casca de castanha, casca de cupuaçu e caroço de açaí, analisando a sua viabilidade enquanto composição de substrato para mudas. Para isso, os materiais foram pirolisados em fornos artesanais, com temperaturas entre 250 °C a 450 °C e tempos de residência entre 10 e 120 horas. Após a produção, foram realizadas análises químicas e físicas, e os valores foram submetidos a teste estatístico. Os resultados mostraram que os 3 biocarvões avaliados apresentam teor de umidade e teor de carbono fixo em faixa aceitável para utilização enquanto substrato, além de teores de matéria orgânica e relação C/N acima dos valores observados em literatura.

Palavras-chave: Biocarvão; Pirólise; Reaproveitamento; Resíduos Agroindustriais;

PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF *BIOCHARS* PRODUCED FROM WASTE FROM THE AMAZONIAN AGROINDUSTRY

ABSTRACT

A viable alternative for the reuse of residues from the Amazonian agroindustry is the production of biochar for use as a substrate in seedling production. This product is a charcoal produced from the pyrolysis of biomass at high temperature and low oxygen concentration, which has characteristics favorable to agronomic use. This study investigates the physicochemical properties of biochars produced from chestnut shells, cupuaçu shells and açaí seeds, analyzing their viability as a substrate composition for seedlings. For this, the materials were pyrolyzed in artisanal ovens, with temperatures between 250 °C and 450 °C and residence times between 10 and 120 hours. After production, chemical and physical analyses were performed, and the values were subjected to statistical testing. The results showed that the three biochars evaluated presented moisture content and fixed carbon content within an acceptable range for use as substrate, in addition to organic matter contents and C/N ratios above the values observed in the literature.

Key words: Biochar; Pyrolysis; Reuse; Agro-industrial Waste;

1 1 Mestranda em Ciências florestais, Universidade federal do Acre (UFAC), E-mail: maria.cintia@sou.ufac.br

2 2 Doutor em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Acre (UFAC), E-mail: paulo.trazzi@ufac.br

1 INTRODUÇÃO

A crescente busca por soluções sustentáveis na agricultura tem destacado o *biochar* como uma alternativa promissora para o condicionamento de solos. O *biochar*, obtido por meio da pirólise de biomassa, é caracterizado por sua alta concentração de carbono, grande porosidade e estabilidade química, além de apresentar elevada capacidade de retenção e disponibilização de nutrientes para as plantas (Lehmann, 2006; Lehmann, 2012). Esse produto pode ser obtido a partir de qualquer material orgânico disponível (Hyeda, 2020), incluindo resíduos provenientes do processamento da agroindústria.

O estado do Acre possui um grande potencial para a utilização de resíduos orgânicos como matéria-prima para a produção de *biochar*, uma vez que esses materiais frequentemente não possuem uma destinação eficiente dentro das cadeias produtivas e acabam sendo descartados de forma inadequada. Algumas cooperativas com maior organização socioambiental, realizam sistemas de compostagem com os resíduos do beneficiamento agroindustrial (Reca, 2020). No entanto, as mais de 15 mil famílias que dependem do extrativismo de produtos como a castanha (*Bertholletia excelsa*) ainda não possuem um sistema documentado para a destinação sustentável de seus resíduos (Silva, 2010; Fonseca et al., 2018).

Uma alternativa viável para o reaproveitamento dos descartes das atividades agrícolas é a produção de *biochar* para uso como substrato na produção de mudas (Ribeiro et al., 2020). No entanto, para a utilização desses resíduos com essa finalidade, algumas características precisam ser consideradas. Entre elas, destaca-se a necessidade de identificar as propriedades físicas do material, como densidade aparente, porosidade e capacidade de retenção de umidade. Além disso, é fundamental analisar suas propriedades químicas, incluindo pH, capacidade de troca de cátions, salinidade, composição química e a relação entre carbono e nitrogênio – relação C/N (Souza, 2019).

A distribuição dos componentes lignocelulósicos varia conforme as propriedades específicas da matéria-prima, e essas macromoléculas apresentam diferentes comportamentos durante o processo de pirólise. Como resultado, ocorrem variações nas proporções das parcelas de bio-óleo, biogás e biocarvão (Alvarez-Chavez et al., 2019). Assim, esse estudo investiga as propriedades físico-químicas do *biochar* produzido a partir dos resíduos da agroindústria amazônica, analisando a sua viabilidade enquanto composição de substrato para mudas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 PRODUÇÃO DO *BIOCHAR*

O *biochar* foi obtido a partir da conversão térmica de resíduos da agroindústria amazônica em um forno de pirólise artesanal, desenvolvido com base no modelo utilizado por produtores rurais locais. A produção foi realizada na Colônia Baixa Verde, no Município de Plácido de Castro (10°3'14"S, 67°13'13"O), no estado do Acre, em estruturas construídas de tijolo com 1,63 metros de altura e uma circunferência de 4,70 metros. O resultado inclui três camadas de suspiros, totalizando 12 saídas para a liberação de gases voláteis, além de uma porta de 1,00 metro de altura por 0,70 metros de largura, que permite a manipulação dos resíduos e o controle do processo térmico (Figura 1).

Figura 1. Forno de pirólise artesanal utilizado para produção de *biochars* produzidos a partir de resíduos agroindustriais



Foto: Conceição Paula Bandeira Rufino (2023)

No local designado para a produção do *biochar*, os resíduos agroindustriais (casca de castanha, casca de cupuaçu e caroço de açaí) foram previamente preparados e expostos diretamente à luz solar para um processo de secagem natural. Após a secagem, os resíduos foram inseridos no forno de forma organizada e separada, conforme registrado na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição do processo de pirólise dos *biochars* produzidos a partir de resíduos agroindustriais.

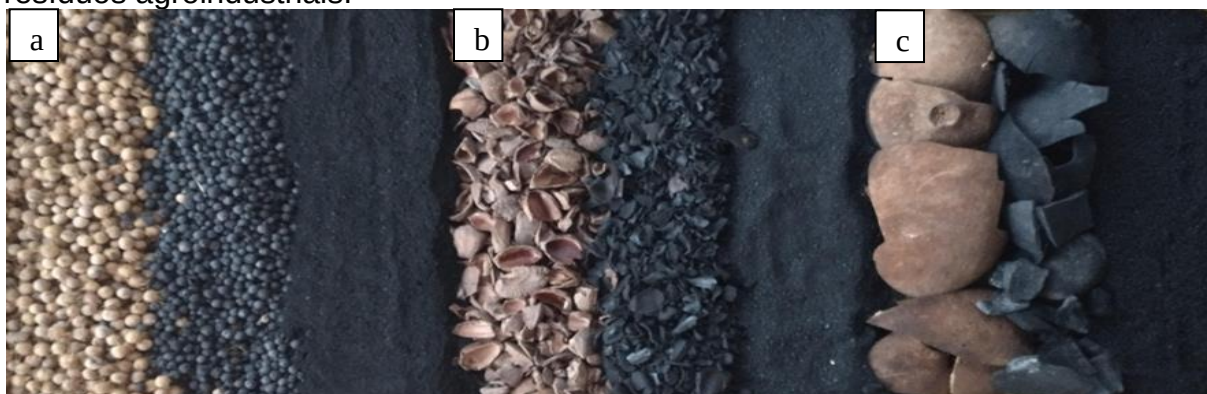
Resíduos	Temperatura	Tempo residência de pirólise
Casca de castanha	250 - 350 °C	96 horas (4 dias)
Caroço de açaí	250 - 350 °C	120 horas (5 dias)
Casca de cupuaçu	250 - 450 °C	10 horas

A pirólise foi iniciada com a ignição na entrada do forno e para evitar contato direto dos resíduos com a fonte de calor, a porta foi vedada com tijolos e uma mistura de solo argiloso e água. O fechamento dos suspiros foi feito progressivamente com mistura semelhante conforme a emissão de fumaça diminuía. Após a finalização, aplicou-se dois banhos de lama para reforçar o isolamento térmico.

A temperatura do forno foi monitorada a cada três horas, para determinar quais os valores mínimos e máximos que seriam atingidos durante a pirólise. O tempo de residência de pirólise foi determinado conforme a conversão completa do resíduo em biocarvão, o que justifica a variabilidade do tempo final de cada produto. O controle dessas duas variáveis foi realizado de forma a assegurar uma pirólise homogênea e eficiente, promovendo uma conversão térmica equilibrada e evitando a formação de materiais carbonizados de baixa qualidade.

Após o tempo necessário para a carbonização, com o forno totalmente resfriado, o material foi extraído e armazenado em sacos de 60 kg para posterior aplicação. A Figura 2 ilustra o processo de carbonização e exemplifica a diferença de granulometria do *biochar* produzido para os diferentes resíduos utilizados, após a pirólise e posterior trituração.

Figura 2. Ilustração do processo da produção do biocarvão produzidos a partir de resíduos agroindustriais.



a. biocarvão produzido a partir de caroço de açai; b. biocarvão produzido a partir de casca de castanha; c. biocarvão produzido a partir de casca de cupuaçu

Foto: Conceição Paula Bandeira Rufino (2023)

2.2. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO *BIOCHAR*

Após a carbonização, o *biochar* foi transportado até fundação de tecnologia do estado do Acre - FUNTAC para as análises laboratoriais, onde inicialmente, uma amostra de cada material produzido passou por um processo de moagem até que a homogeneização parcial fosse alcançada. Em seguida, essas amostras foram inseridas em equipamento com agitações orbitais e batidas intermitentes, contendo peneiras de 10 mesh a 200 mesh para separar o material mais grosseiro remanescente da moagem e garantir a homogeneidade do *biochar* utilizado nas análises (Figura 3).

Figura 3. Homogeneização dos *biochars* produzidos a partir de resíduos agroindustriais em agitador mecânico e posterior secagem do material em estufa.



Fonte: Maria Cintia Silva de Freitas (2024)

Após a separação granulométrica, as amostras foram distribuídas em cadinhos de porcelana devidamente identificados, acondicionados e submetidos a um processo de secagem em estufa com temperatura controlada de $105,0 \pm 1,0$ °C, para eliminação de umidade residual presente nas amostras. Esse processo foi mantido até que as amostras atingissem massa constante, garantindo que não houvesse variações no peso devido à presença de umidade.

A caracterização química do *biochar* envolveu a determinação do teor de cinzas, materiais voláteis, macro e micronutrientes, além da medição do pH e de outras análises necessárias para sua avaliação. A metodologia para determinação da análise química imediata seguiu as diretrizes da norma ASTM D 1762 – 64, com adaptações de Oliveira (1982), sendo amplamente utilizada para padronizar os procedimentos laboratoriais. Para a obtenção dos resultados, amostras de 5,0 g de *biochar* foram adicionados em cadinhos de porcelana tampados e, posteriormente, inseridas em uma mufla regulada a aproximadamente 950 °C. A partir dos dados obtidos com os valores iniciais e finais, para cada equação, foi possível determinar o teor de umidade e materiais voláteis, conforme equações 1 e 2.

Equação 1: determinação do teor de umidade (TU)

$$TU (\%) = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} * 100$$

TU = teor de umidade (%)

Mi = massa inicial (g)

Mf = massa final (g)

Equação 2: determinação do teor de materiais voláteis (TV)

$$TV (\%) = (Mi - Mf) * 100$$

Em que:

TV = Teor de materiais voláteis (%)

Mi = massa inicial (g)

Mf = massa final (g)

Para a determinação do teor de cinzas (TC), as amostras previamente analisadas para os materiais voláteis foram submetidas a um novo procedimento de aquecimento, sendo destampadas e aquecidas em mufla a 750 °C por um período de 6 horas, com a porta do equipamento fechada. Após esse período, as amostras foram transferidas para um dessecador e mantidas por aproximadamente 1 hora para resfriamento antes da pesagem final. A partir dos dados coletados, foi possível calcular os teores de cinzas e de carbono fixo com base nas equações 3 e 4, permitindo identificar a estabilidade do material e sua composição química.

Equação 3: determinação do teor de cinzas (TC)

$$TC (\%) = \left(\frac{Mi - Mf}{Mf} \right) * 100$$

Em que:

TC = teor de cinzas (%)

Mi = massa inicial (g)

Mf = massa final (g)

Equação 4: determinação do teor de carbono fixo (TCF)

$$TCF (\%) = 100 - (TV + TC)$$

Em que:

TV= Teor de materiais voláteis

TC= Teor de Cinzas

2.3. CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR DO *BIOCHAR*

Após a caracterização química inicial, os *biochars* produzidos a partir de resíduos agroindustriais (casca de castanha, casca de cupuaçu e caroço de açaí) foram misturados com substrato comercial em diferentes proporções, permitindo uma análise comparativa entre diferentes concentrações do material (quadro 1).

Quadro 1. Composição dos tratamentos com biochars de casca de castanha, casca de cupuaçu e caroço de açaí em diferentes proporções com substrato comercial.

Resíduos	Tratamentos	Composição
Casca de Castanha	CAST10	10% de BC + 90% substrato comercial
	CAST20	20% de BC + 80% substrato comercial
	CAST30	30% de BC + 70% substrato comercial
	CAST40	40% de BC + 60% substrato comercial
	CAST50	50% de BC + 50% substrato comercial
	CAST100	100% de BC
Casca de Cupuaçu	CUP10	10% de BC + 90% substrato comercial
	CUP20	20% de BC + 80% substrato comercial
	CUP30	30% de BC + 70% substrato comercial
	CUP40	40% de BC + 60% substrato comercial
	CUP50	50% de BC + 50% substrato comercial
	CUP100	100% de BC
Caroço de açaí	ACAI10	10% de BC + 90% substrato comercial
	ACAI20	20% de BC + 80% substrato comercial
	ACAI40	30% de BC + 70% substrato comercial
	ACAI30	40% de BC + 60% substrato comercial
	ACAI50	50% de BC + 50% substrato comercial
	ACAI100	100% de BC

Para cada proporção, uma amostra de 500g foi coletada, armazenada em recipientes hermeticamente fechados e enviada ao laboratório para análises complementares, referentes às propriedades físico-químicas do substrato. Essas análises foram conduzidas por meio de diferentes técnicas de espectrometria (quadro 2), abrangendo os principais aspectos de avaliação na composição de uma análise de substrato. As análises laboratoriais foram realizadas no laboratório da IBRA Fertilizantes e Corretivos, respeitando os protocolos específicos de cada metodologia de análise dos ensaios.

Quadro 2. Métodos analíticos utilizados na caracterização química das amostras de *biochar* produzidos a partir de resíduos agroindustriais.

Método	Ensaio
MAPA - Espectrofotometria	Umidade; CTC; C orgânico; relação C/N;
MP FERT 01 - Gravimetria	Matéria Orgânica
Célula de Condutividade	Condutividade elétrica
Potenciometria	pH
Gravimétrico	CTC
Relação Massa x Volume	densidade

2.4 ANÁLISE DE DADOS

A partir dos dados obtidos na caracterização físico-química foram produzidos gráficos e tabelas para avaliar o desempenho entre os tratamentos e dosagens. Os resultados foram submetidos a análises estatísticas para verificar a normalidade e homogeneidade de variância. Para isso, foi aplicada a análise de variância (ANOVA), seguida da comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA

Na presente pesquisa, os *biochars* produzidos a partir de diferentes resíduos da agroindústria amazônica (casca de castanha, casca de cupuaçu e caroço de açaí), foram comparados com um substrato comercial utilizado na agricultura. A análise química imediata dessas amostras permitiu a obtenção dos valores referentes ao teor de umidade (TU), teor de materiais voláteis (TMV), teor de cinzas (TC) e teor de carbono fixo (TCF), os quais estão apresentados na Tabela 2. Esses parâmetros permitem compreender as propriedades físico-químicas de cada tipo de *biochar* e sua adequação ao uso agrônomo, visto que influenciam diretamente na estabilidade, capacidade de retenção de água e disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Tabela 2. Caracterização química dos *biochars* produzidos a partir de diferentes resíduos da agroindústria amazônica.

Resíduo	TU (%)	TMV (%)	TCZ (%)	TCF (%)
Caroço de Açaí	12,80 ^a	19,04 ^b	4,70 ^a	63,46 ^a
Casca de Castanha	9,43 ^a	27,07 ^a	7,38 ^a	56,12 ^a
Casca de Cupuaçu	9,75 ^a	19,85 ^b	4,29 ^a	66,11 ^a
Substrato Comercial	15,97 ^a	13,35 ^b	5,46 ^a	65,23 ^a

TU. Teor de umidade; TMV. Teor de materiais voláteis; TCZ. Teor de cinzas; TCF. Teor de carbono fixo. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Conforme observado na tabela, os valores referentes ao teor de umidade variam entre os *biochars* produzidos a partir dos resíduos da agroindústria amazônica e o substrato comercial avaliado, no entanto não há diferença estatisticamente significativa entre as análises, considerando o nível de significância de 5% de erro. Assim, é possível inferir que todos os 3 produtos apresentam valores similares. Barbosa et al. (2023) identificou em seu estudo que para a utilização de um *biochar* com finalidade agrônoma o teor de umidade deve variar de 1% a 15%, portanto os todos os *biochars* avaliados encontram-se dentro da faixa aceitável para utilização.

Esse resultado se alinha ao que é desejável para substratos, uma vez que formulações com teor de umidade adequada são necessários para garantir condições

favoráveis ao desenvolvimento das plantas e à manutenção da umidade. De acordo com Premalatha et al. (2023), essa característica é fundamental para otimizar o crescimento das mudas e melhorar a retenção hídrica, especialmente em sistemas de cultivo que dependem de irrigação controlada e eficiência no uso da água.

Os valores encontrados para essa variável são fortemente influenciados pelo resíduo utilizado para a produção, já que biomassas com maior umidade irão gerar *biochars* com resultados fora da faixa aceitável (Seow, 2022). Souza (2023) sugere uma pré-secagem da biomassa, visto que seu experimento obteve teores de umidade elevados sem essa etapa, enquanto Tanure (2018), utilizando o mesmo resíduo (casca de eucalipto) realizou uma pré-secagem e obteve valores inferiores. No presente trabalho foi realizado essa técnica nos materiais antes da pirólise o que explica o resultado positivo encontrado nos 3 produtos.

No que se refere ao teor de materiais voláteis, o *biochar* derivado da casca de castanha demonstrou os maiores índices, sendo o único valor entre os resíduos que diferiu estatisticamente. Os valores referentes ao *biochar* de casca de cupuaçu, caroço de açaí e substrato comercial não apresentaram diferença estatística entre si.

É importante destacar que Padilla et al. (2020) mencionou que a taxa de aquecimento durante a pirólise influencia diretamente na remoção dos materiais voláteis, portanto é consistente que no presente trabalho os teores encontrados foram similares quando as taxas de aquecimento utilizadas foram semelhantes.

Segundo Barbosa et al. (2023), quanto menor o teor de materiais voláteis, maior a estabilidade do *biochar*, reduzindo a liberação rápida de compostos orgânicos e contribuindo para uma liberação gradual e controlada de nutrientes, sendo que a faixa ideal para o produto seria entre 0% e 40%. Dessa maneira, todos os *biochars* avaliados se encontram dentro da faixa adequada, no entanto segundo a estatística é possível inferir que o *biochar* de casca de castanha apresentou os resultados menos favoráveis em comparação aos demais resíduos.

Teores de materiais voláteis reduzidos são menos propensos a liberar gases nocivos ao solo, portanto quanto mais reduzido os valores encontrados, melhor para o meio (Liu et.al., 2020). Estudos encontrados em literatura corroboram com essa afirmação e chegaram a resultados similares ao presente estudo, com *biochars* de valores aceitáveis para uso, porém em quantidade relativamente alta (Souza, 2023; Oliveira, 2017).

Com relação ao teor de cinzas foi possível observar que os resultados apresentados para os 3 tipos de *biochar* e substrato comercial não apresentaram divergência estatística. Um elevado teor de cinzas pode indicar o preenchimento dos poros com componentes inorgânicos, o que pode comprometer sua qualidade e desempenho agrônômico (Galvani et.al., 2021).

Considerando que Barbosa (2023) determinou que o teor de cinzas abaixo de 1,5% é ideal, nenhum produto está dentro da faixa aceitável. Em aplicações agrícolas, um teor excessivo de cinzas pode reduzir a capacidade do *biochar* de apresentar o seu melhor desempenho, pois pode impedir a absorção de água e influenciar a disponibilidade de nutrientes (Silva, 2017).

Essa variável está geralmente associada a composição da biomassa e presença de impurezas decorrentes do processo de produção. No estudo de Campos (2023) o elevado teor de cinzas apresentado foi atribuído a possíveis contaminações da casca de eucalipto devido as condições de transporte e longo período de armazenamento em que foi submetida. No presente estudo os altos valores da variável podem estar relacionados com a utilização de fornos artesanais, já que o processo de observação dos ensaios de queima foi essencialmente empírico e esse tipo de forno não tem a precisão e constância na temperatura, que os equipamentos analíticos utilizados em outros estudos possuem. Essa hipótese pode ser corroborada por Gonçalves (2022), que em estudo utilizando forno artesanal pode verificar a variabilidade de produção do *biochar* de acordo com as variáveis que o equipamento está propenso a ser submetido.

Em relação ao teor carbono fixo, Silva (2023) menciona que esse é um dos principais indicadores da qualidade do *biochar*, pois representa a porcentagem do material carbonizado que não é removida durante a eliminação de umidade e materiais voláteis. Ao avaliar essa variável verificou-se que não houve diferença estatística em teste a 5% de probabilidade de erro entre os produtos avaliados e todos apresentaram uma alta concentração de carbono fixo. Isso indica maior durabilidade e menor decomposição ao longo do tempo, o que pode contribuir para um efeito prolongado do *biochar*.

De acordo com o parâmetro estabelecido por Barbosa et.al. (2023) de 50% a 90% para a concentração de carbono fixo em *biochars* utilizados para fins agrônômicos é possível determinar que todos os *biochars* produzidos estão dentro da faixa aceitável com relação a essa variável.

Um alto teor de carbono fixo sugere que a biomassa original foi eficientemente preservada durante a pirólise, garantindo uma maior estabilidade química do produto (Galvani et.al., 2021). Nesse sentido é possível determinar que o método de produção empregado foi eficiente no que diz respeito ao carbono fixo mesmo que tenha existido variação de temperatura entre os processos.

Diante da análise conjunta das variáveis apresentadas e considerando os requisitos ideais para o uso do *biochar* na produção de mudas, é possível inferir que os 3 *biochars* produzidos a partir de resíduos da agroindústria amazônica apresentaram bom equilíbrio entre teor de umidade e teor de carbono fixo, e podem ser considerados uma opção promissora para essa aplicação.

Individualmente o *biochar* derivado da casca de castanha apresentou desempenho inferior entre os materiais avaliados, pois foi o único resíduo que diferiu estatisticamente com relação ao teor de materiais voláteis. Esse resultado indica uma maior presença de compostos orgânicos instáveis, o que pode afetar a liberação de nutrientes, conforme encontrado por alguns autores (Pérez-González et al., 2021). No entanto, esse valor inferior não descarta o produto enquanto uso agrônômico, pois a interação dos *biochars* com os diferentes tipos de solo e culturas agrícolas requer uma abordagem mais extensa e robusta para validar os resultados e garantir a aplicabilidade prática das descobertas científicas.

3.2 ANÁLISE DOS *BIOCHARS* COMO COMPONENTES DE SUBSTRATO

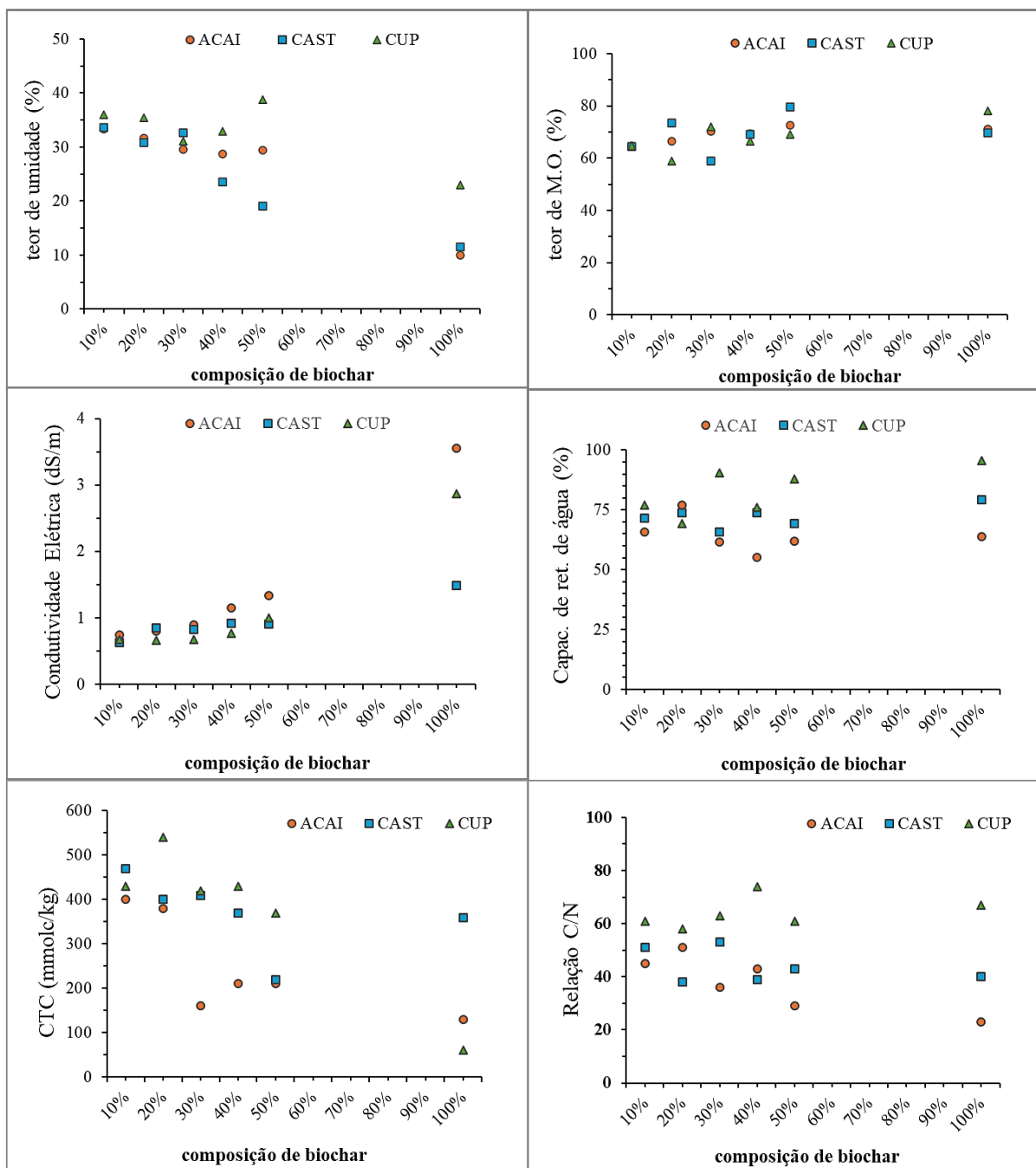
A análise dos substratos a serem utilizados no crescimento inicial de mudas com diferentes proporções de *biochar* produzidos a partir de resíduos de caroço de açaí, casca de castanha e casca de cupuaçu podem ser observadas abaixo (Figura 5). Entre os parâmetros avaliados, destacam-se umidade, matéria orgânica, pH, condutividade elétrica, capacidade de troca catiônica (CTC) e carbono orgânico. Os valores obtidos indicam que a composição química do *biochar* varia significativamente conforme o tipo de biomassa e a proporção utilizada, refletindo diretamente na capacidade de retenção de água e na disponibilização de nutrientes para as plantas.

A análise do pH revelou que, à medida que a proporção de *biochar* aumenta, há um aumento gradual da alcalinidade, sendo o tratamento utilizando *biochar* de casca de cupuaçu (CUP100), aquele com pH mais alcalino por apresentar teor de 9,5 na proporção de 100%. Sabendo que a faixa ideal para culturas deve ser mantida em

valores de até 6,0 (Schmitz et.al., 2002), e o pH ideal para composição de substratos adequada deve estar entre 5,5 e 6,0 (Jorge et.al., 2020) considera-se dentro da faixa ideal segundo o estudo, apenas os tratamentos CUP10, CUP20, ACAI10, ACAI20 e CAST10.

Conforme apresentado abaixo (figura 5) os teores de umidade demonstram diferenças entre os resíduos, sendo que o *biochar* de casca de cupuaçu apresentou os maiores valores entre os tratamentos avaliados (CUP10, CUP20, CUP40 e CUP50). Em um comparativo individual para cada tipo de resíduo foi possível observar que o *biochar* de caroço de açaí e *biochar* de casca de cupuaçu obtiveram maiores valores em uma dosagem de 50% (CAST50 e CUP50), enquanto o *biochar* de casca de castanha obteve melhor desempenho no tratamento CAST30.

Figura 5. Propriedades físico-químicas das composições de substrato com *biochar* produzidos a partir de resíduos de casca de castanha, casca de cupuaçu e caroço de açaí.



ACAI: biochar produzido a partir de caroço de açaí; CAST: biochar produzido a partir de casca de castanha; CUP: biochar produzido a partir de casca de cupuaçu;

O teor de umidade elevado na composição de substrato com *biochar* produzidos durante o estudo pode ser considerado um fator benéfico, uma vez que

substratos com maior teor de umidade tendem a promover um ambiente mais favorável o crescimento inicial das mudas (Menegale, 2013).

Para os valores de matéria orgânica foi possível observar uma tendência de aumento conforme aumentam-se as proporções dos 3 tipos de *biochars* no substrato. Alguns estudos indicam que o aumento de matéria orgânica na composição de substrato favorece uma adequada estrutura do solo e permite um bom desempenho radicular e absorção de água e nutriente pelas raízes (Bento, 1997; Oliveira et.al., 2009). Nesse sentido, o *biochar* de casca de castanha foi o produto que apresentou melhor resultado com destaque para o tratamento CAST50. Enquanto isso, os menores resultados foram encontrados na proporção de 30% e 20% para *biochar* de casca de castanha e *biochar* de casca de cupuaçu respectivamente (CAST30 e CUP20).

A condutividade elétrica, um indicador da presença de sais solúveis no *biochar*, também variou conforme a biomassa utilizada. O *biochar* produzido a partir do resíduo de caroço de açaí apresentou os valores mais elevados com destaque para o tratamento ACAI100, o que pode indicar uma maior quantidade de nutrientes dissolvidos. Foi possível também observar uma tendência no comportamento dos diferentes tipos de *biochar*, visto que, em valores reduzidos de produto, a condutividade elétrica também foi reduzida, aumentando gradativamente conforme a dosagem aumentava.

Alguns estudos que demonstram que existe correlação entre o efeito do tamanho de partículas de *biochar* e a condutividade elétrica do solo (Liu et al., 2013), de modo que a granulometria pode ter tido um fator de diferenciação entre os produtos. Assim, o açaí possui menores partículas e maiores valores de condutividade elétrica, enquanto o cupuaçu apresenta maiores partículas e menor condutividade elétrica. No estudo Liu et.al. (2013), quando o pesquisador aplicou dose de 2% de *biochar*, partículas menores apresentaram maior condutividade e partículas maiores não tiveram efeito significativo.

A CTC, um parâmetro essencial para avaliar a capacidade do *biochar* de reter e disponibilizar cátions essenciais para as plantas, demonstrou ampla variação entre os materiais analisados. Os tratamentos CUP20, CUP30 e CUP50 apresentaram os valores mais elevados dessa variável, o que sugere um maior potencial de interação com nutrientes no solo, enquanto os menores valores de CTC foram encontradas nas dosagens de *biochar* de caroço de açaí. Esse efeito encontrado no *biochar* de casca

de cupuaçu foi descrito por Xu et al. (2023), que afirmou que o produto aumenta a retenção de nutrientes no solo, contribuindo para a melhoria da fertilidade. Alguns autores mencionam que é desejável que os valores de CTC sejam mais elevados, possibilitando assim a retenção dos nutrientes no substrato e a sua liberação gradativa às plantas (Martínez, 2002).

No entanto houve uma redução expressiva na CTC (60 mmolc/kg) para os tratamentos CUP100 e ACAI100, o que pode indicar uma menor capacidade de troca iônica em altas concentrações. Esse efeito já havia sido descrito em literatura por autores que verificaram que os resultados da capacidade de troca de cátions das misturas da fibra de coco granulada e da casca de *Pinus lupu* com a casca de arroz, foi intermediário nos valores dos substratos puros (Zorzeto, 2011).

Com relação a variável de capacidade de retenção de água pode-se observar que o tratamento CUP100 demonstrou os maiores índices no gráfico acima, indicando seu potencial para melhorar a retenção hídrica do solo. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos como o de Guerrini e Trigueiro (2004), que evidenciou que o aumento na percentagem de biossólido promoveu aumento na densidade aparente dos substratos, diminuindo o espaço de aeração, além de aumentar a capacidade de retenção de água pelo aumento na microporosidade dos substratos.

Estudos indicam que um *biochar* de elevada porosidade tem potencial para melhorar a densidade aparente do solo, e capacidade de retenção de água reduzindo sua compactação e promovendo um ambiente mais favorável para o desenvolvimento radicular das plantas (Conz, 2015). O uso de biocarvão derivado de biossólidos, por exemplo, apresenta impactos positivos na capacidade de retenção de umidade e na disponibilidade de macro e micronutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal (Velázquez Machuca et al., 2019), conforme foi observado nesse estudo.

O gráfico da relação C/N mostra que a proporção de carbono em relação ao nitrogênio é significativamente elevada para todas as amostras, quando comparados aos valores de referência encontrados em literatura para substratos, que é de 18 (Maeda et.al., 2007). Esse elevado teor irá resultar em uma menor decomposição do *biochar* e um tempo de permanência prolongado no solo, o que pode reduzir a perda de nitrogênio, especialmente durante o processo de mineralização (Silber, 2008).

Observando o contexto geral da pesquisa foi possível observar que os *biochars* produzidos a partir dos resíduos agroindustriais apresentam os requisitos necessários para a utilização do produto enquanto composto para substrato, prática que já vem

sendo corroborado por outros estudos como o de (Almeida et.al., 2021) que evidenciou o potencial dos substratos compostos por resíduos de café e agroextrativismo amazônico no crescimento inicial de diversas espécies florestais. Assim, a integração dos resultados encontrados na pesquisa com experimentos práticos relacionados a sua viabilidade em campo pode ser benéfica para o desenvolvimento da linha de pesquisa.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo indica que o *biochar* obtido a partir de resíduos da agroindústria amazônica — casca de cupuaçu, a casca de castanha e o caroço de açaí — apresentam propriedades adequadas para seu uso como componente de substrato na produção de mudas. Os resultados da análise química imediata não mostraram diferença estatística significativa entre os diferentes tipos de *biochar* e o substrato comercial, com exceção do teor de materiais voláteis da casca de castanha. Todos os valores se mantiveram dentro das faixas recomendadas na literatura para aplicação agronômica.

Quanto à avaliação das dosagens utilizadas na composição dos substratos, observou-se que as proporções de 20% e 30% de *biochar* para os 3 resíduos avaliados apresentaram os resultados mais satisfatórios, com níveis elevados de matéria orgânica e alta relação C/N. A condutividade elétrica aumentou expressivamente nas dosagens de 100%, enquanto a CTC reduziu expressivamente o que indica, em conformidade com demais resultados, limitação no uso de *biochar* puro como substrato.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKHTAR, S.S. et al. Interactive effect of biochar and plant growth-promoting bacterial endophytes on ameliorating salinity stress in maize. **Functional Plant Biology**, v.42, n. 8, p. 770–781, 2015.

ALMEIDA et.al. Reaproveitamento de resíduos de café em substratos para produção de mudas de *Joannesia princeps*. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 41, 2021.

ALVAREZ-CHAVEZ, Brenda J. et al. Physical, chemical, thermal and biological pre-treatment technologies in fast pyrolysis to maximize bio-oil quality: A critical review. **Biomass and Bioenergy**, v. 128, p. 105333, 2019.

ANDRADE, C.A. et al. Cinética de degradação da matéria orgânica de biossólidos após aplicação no solo e relação com a composição química inicial. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.4, p.659-668, 2006.

ARAUJO, D. D. **Efeito do biochar de lodo de esgoto no crescimento inicial de mudas de *Erythrina velutina* willd.** 2016.

ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant and Soil** v. 337, n. 1-2, p. 1–18 , 30 jun. 2010.

BARBOSA,B.S.; **Caracterização de biochar de resíduos de laranjeira e seu efeito no crescimento inicial de ipê-roxo.** 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Campus Universitário de Capitão Poço, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Capitão Poçof, 2023.

BATISTA, R.R. GOMES, M.M. Effects of Chemical Composition and Pyrolysis Process Variables on Biochar Yields: Correlation and Principal Component Analysis. **Floresta e Ambiente**, v. 28, n.3, 2021.

CAMPOS, A. M. A. **Adição de resíduos agroindustriais pós-pirólise em misturas de carvões para a produção de coque metalúrgico.** 2023. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023

CARVALHO, A. G. et al.. Efeito da aplicação do *biochar* da casca de cupuaçu na cultura do alface (*lactuca sativa*, L.).. In: **Anais da VII Reunião Paranaense de Ciência do Solo: Alta produtividade aliada à conservação do solo.** Guarapuava(PR) UNICENTRO, 2021.

COLANTONI, A. et al. Characterization of biochars produced from pyrolysis of pelletized agricultural residues. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 64, p. 187-194, 2016.

CONZ, R.F.; **caracterização de materias-primas e biochars para aplicação na agricultura.** Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2015.

CORRÊA et.al. Reaproveitamento de resíduos orgânicos regionais agroindustriais da Amazônia Tocantina como substratos alternativos na produção de mudas de alface. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 1, p. 97-104, 2019.

DECKER, J.V.R.; **Dinâmica do fósforo no solo e na cultura do milho 9Zea mays) após a aplicação de condicionadores de solo como biochar e zeólitos.** Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 68p. Bragança, 2019.

DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade. p. 129-140, 2016.

DITTAKIT, P. et al. Properties of biochar from Coconut Waste and Application in Agriculture. **ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports**, v. 26, n. 1, p. 52-58, 2023.

FERREIRA, H.C.R. BATISTELLA, L.; Caracterização e aproveitamento energético de resíduos lignocelulósicos de castanha do Pará. **V seminário de Iniciação Científico.** UNIFESSPA. Setembro, 2019.

FONSECA, V. A. **Estratégia de utilização de água salina no cultivo de palma forrageira ‘gigante’.** Dissertação (Produção Vegetal no Semiárido). Instituto Federal Baiano Campus Guanambi, Guanambi, Bahia, 2018.

GALVANI, F.; OKAMURA, L.A.; SALIS, S.M.; Potencial energético das biomassas de canjiqueira e de cambará. 25 p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Embrapa Pantanal, ISSN 1981-7215; 146).

GUERRINI, I.A.; TRIGUEIRO, R.M.; Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:1069-1076, 2004.

GONÇALVES, E.C.B.M. **Construção de forno tlud visando a produção de biocarvão de casca de coco para uso na agricultura.** 55f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2022

HYEDA, D.; **Atributos microbiológicos como indicadores de qualidade do solo em plantio de eucalipto com aplicação de biochar.** 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração: Agricultura), Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2020.

JORGE, et.al. Informações técnicas sobre substratos utilizados na produção de mudas de hortaliças. 30p. **Documentos 180** – Embrapa Hortaliças. Setembro, 2020.

JURIGA, Martin; ŠIMANSKÝ, Vladimír. Effect of biochar on soil structure—Review. **Acta Fytotech. Zootech**, v. 21, p. 11-19, 2018.

KALINKE, C.; **Biochar quimicamente ativado: obtenção, caracterização e aplicação no desenvolvimento de sensores eletroquímicos.** Tese (doutorado em química), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

KAYAMA, Masazumi; ABEBE, Buruh; BIRHANE, Emiru. Effects of Biochar on the Growth of *Vachellia etbaica* and *Faidherbia albida* Planted in Tigray, Northern Ethiopia. **Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ**, v. 55, n. 4, p. 367-378, 2021.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems - A review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.11, n.2, p.403–427, 2006.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and technology**. Routledge: London, 2012.

LEI, O.Y.; ZHANG, R.D. Effects of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties. **Journal of Soils and Sediments**, v. 13, p. 1561–1572, 2013.

LIPKOVICH, I.; SMITH, E. P. Biplot and Singular Value Decomposition Macros for Excel. **Journal of Statistical Software**. Blacksburg, v. 7, n.5, p: 1-15, 2002.

LIU, N. et al. Characterization of biochars derived from agriculture wastes and their adsorptive removal of atrazine from aqueous solution: A comparative study. **Bioresource technology**, Essex, England, GB: Elsevier, v. 198, p. 55–62, 2015.

LOPES, D. A. et al. **Biocarvão de biossólido na composição de substratos para a produção de mudas florestais**. 2019.

MAEDA, et.al. Caracterização de substratos para produção de mudas de espécies florestais elaborados a partir de resíduos orgânicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], n. 54, p. 97, 2010. Disponível em: <https://pfb.sede.embrapa.br/pfb/article/view/133>. Acesso em: 22 abr. 2025.

MARTÍNEZ, P.F. Manejo de substratos para horticultura. In: FURLANI, A.M.C., et al. (Coord.). Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas. 1.ed. Campinas: **Instituto Agrônomo**, p. 79., 2002.

MENEGALE, V.L.C. **Estudo do potencial do licor pirolenhoso como aditivo em condicionador de solo e no crescimento inicial de eucalipto**. 2013, 84 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, 2013.

MCELLIGOTT, K. M.; COLEMAN, M. **Biochar Amendments to Forest Soils: Effects on Soil Properties and Tree Growth**. 2011. University of Idaho: Moscow, Idaho, USA.

NOYCE, G. L. et al. Phosphorus uptake and availability and short-term seedling growth in three Ontario soils amended with ash and biochar. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 97, n. 4, p. 678-691, 2017.

OLIVEIRA, T. J. P.; CARDOSO, C. R.; ATAÍDE, C. H. Bubbling fluidization of biomass and sand binary mixtures: Minimum fluidization velocity and particle segregation. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 72, p. 113–121, 2013.

OLIVEIRA, D.M.C. **Preparação, caracterização e avaliação da incorporação de biochar ao solo para germinação de sementes de pinus elliottii**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba), 2017.

OLIVEIRA, E.L.; **Caracterização físico-química de biocarvões com potencial para condicionador de solo**. 84p. Trabalho de Conclusão de Curso (dissertação de mestrado profissional em ciências ambientais) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - Campus Serrinha Ba, 2023.

PEREIRA et.al. Substratos orgânicos na produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 2, p. 17-26, 2017.

PÉREZ-GONZÁLEZ et.al. Evaluación de biocarbón de caña de azúcar en el desarrollo de Pinus greggii Engelm. ex Parl. en condiciones de vivero. **Terra Latinoamericana**, v.39, p.1-9. Ed.1343. Dezembro, 2021.

PREMALATHA, R.P.; et.al.; A review on biochar's effect on soil properties and crop growth. **Front. Energy Res.** 11:1092637. doi: 10.3389/fenrg.2023.1092637, 2023.

RECA. **Associação dos Pequenos Agrossilvicultores do Projeto Reca**. Quem somos. 2020. Disponível em: <https://www.projettoreca.com.br/quem-somos/> Acesso em: 14/01/2025.

RIBEIRO, F. F; SARAIVA-BONATTO, E. C; MOURA, R. P. de M; MOURA, M. A. S. Caracterização do resíduo agrícola da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K). **Revista Terceira Margem Amazônia**, v. 6, n.15, p. 61-73, 2020.

RÓZ, A. L, RICARDO, J. F. C., NAKASHIA, G. T., SANTOS, L. R. O., YAMAJI, F. M. Maximização do teor de carbono fixo em biocarvão aplicado ao sequestro de carbono. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 810–814, 2015.

SANTOS, D.S.; ANDRADE, C.A.; MATTIAZZO, M.E. Degradação da fração orgânica de lodos de esgoto após aplicação no solo (compact disc). In: **FERTBIO, Rio de Janeiro, 2002. Resumos**. Rio de Janeiro: SBCE; SBM; UFFRJ, 2002.

SCHMITZ, et.al. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, v. 32, p. 937-944, 2002.

SEOW et.al. Uma revisão sobre a produção de *biochar* a partir de diferentes resíduos de biomassa por meio de tecnologias recentes de carbonização e suas aplicações sustentáveis. **Revista de engenharia química ambiental**. V. 10, nº 1, 2022.

SILBER, A. Chemical characteristics of soilless media. In: **Soilless culture: Theory and practice**. Raviv, M. & J.H. Lieth., (Eds.) Elsevier, San Diego. pp. 209- 244, 2008.

SILVA, F.R. **Produção, caracterização e avaliação em meio aquoso de biocarvão de resíduos lignocelulósicos**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp). 137f. Araraquara, 2023.

SILVA et.al. Produção de mudas de juçara com resíduos agroindustriais e lodo de esgoto compostados. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 9, n. 2, p. 109-121, 2015.

SILVA et.al. Qualidade de mudas de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) produzidas em substratos compostos por resíduos do agroextrativismo amazônico. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v. 6, n. 11, p.84526-84538, nov. 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/19279/15469> Acesso em: 20 Set. 2024.

SILVA, S. M. P. Estado e políticas públicas no mercado de castanha-do-brasil no Estado do Acre: uma análise pela abordagem do desenvolvimento local. **Revista IDeAS**, v. 4, n. especial, p. 103-128. 2010.

SILVA, M. S. A. **Biochar de casca de pequi como condicionador de solo no desempenho agrônomo de feijoeiro**. 2017.

SOUCHIE, F. F. et al. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* LG Silva & HC Lima. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 811-821, 2011.

SOUZA, E.A.G. **Produção de biochar a partir do reaproveitamento de casca de eucalipto**. 48p. Trabalho de conclusão de curso – bacharelado em engenharia industrial madeireira. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciências e Engenharia. Itapeva, 2023.

SOUZA, M. H. **Caracterização e efeitos de biocarvões para uso agrônomo em solo arenoso**. Tese de doutorado. Universidade federal de mato grosso, faculdade de agronomia e zootecnia. Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, 150p. 2019.

TANURE, M. M. C. **Produção de biocarvões para estudos de retenção de água, condutividade hidráulica e resistência à penetração em latossolo**. 2018. 72 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018

VELÁZQUEZ MACHUCA, M. A. et al. Caracterización física y química de *biochar* de lodos residuales. **Terra Latinoamericana**, v. 37, n. 3, p. 243-251, 2019.

WIJAYA, B. A. et al. Meranti (*Shorea sp.*) biochar application method on the growth of sengan (*Falcataria moluccana*) as a solution of phosphorus crisis. **Energies**, v. 15, n. 6, p. 2110, 2022.

XU, P. et al. Progresso da pesquisa sobre os efeitos do *biochar* no ambiente do solo e na absorção e utilização de nutrientes da cultura. **Sustentabilidade**, v. 15, n. 6, p. 4861, 2023

ZORZETO, T.Q.; **Caracterização física e química de substratos para plantas e sua avaliação no rendimento do morangueiro (fragaria x ananassa duch)**. 110f. Dissertação (mestrado). Instituto Agrônomo pós-graduação. Programa agricultura tropical e subtropical. Campinas, São Paulo, 2011.

BIOCHAR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATOS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE *HANDROANTHUS IMPETIGINOSUS*

Maria Cintia Silva de Freitas³
Paulo André Trazzi⁴

RESUMO

O biochar, produto que pode ser obtido pela pirólise de diferentes tipos de biomassa, apresenta propriedades físico-químicas que variam conforme a matéria-prima. Essa variação pode influenciar sua eficácia como substrato para mudas e crescimento das plantas, pois afeta diretamente a sua estrutura e composição. Diante disso, este estudo visa avaliar a produção de mudas de *Handroanthus Impetiginosus* em substratos com diferentes concentrações de biochars de resíduos da agroindústria amazônica. Para isso foi realizado um delineamento experimental com 5 blocos casualizados (DBC) com 10 plantas por tratamento (biochar de casca de castanha, casca de cupuaçu e caroço de açaí, nas dosagens de 10%, 30% e 50%) adicionado a um tratamento testemunha com 100% de substrato comercial. As variáveis morfológicas diâmetro do coleto, altura e número de folhas (NF) foram coletadas a cada 30 dias. No fim do experimento, além desses dados, foi obtido os valores de massa seca (MSPA, MSR e MST). Os resultados concluíram que os biochars avaliados não divergiram estatisticamente do substrato comercial e, portanto, podem ser utilizados em substituição desse insumo.

Palavras-chave: agroindústria amazônica; crescimento; desenvolvimento vegetal;

BIOCHAR OF AGROINDUSTRIAL WASTE IN THE COMPOSITION OF SUBSTRATES FOR THE PRODUCTION OF *HANDROANTHUS IMPETIGINOSUS* SEEDLINGS

ABSTRACT

Biochar, a product that can be obtained by pyrolysis of different types of biomass, has physicochemical properties that vary depending on the raw material. This variation can influence its effectiveness as a substrate for seedlings and plant growth, as it directly affects their structure and composition. Therefore, this study aims to evaluate the production of *Handroanthus Impetiginosus* seedlings in substrates with different concentrations of biochars from Amazonian agroindustry waste. For this purpose, an experimental design with 5 randomized blocks (DBC) was carried out with 10 plants per treatment (biochar from chestnut shells, cupuaçu shells and açaí seeds, at dosages of 10%, 30% and 50%) added to a control treatment with 100% commercial substrate. The morphological variables stem diameter, height and number of leaves (NF) were collected every 30 days. At the end of the experiment, in addition to these data, dry mass values (MSPA, MSR and MST) were obtained. The results concluded that the biochars evaluated did not differ statistically from the commercial substrate and, therefore, can be used to replace this input.

Keywords: Amazonian agroindustry; growth; plant development.

3 1 Mestranda em Ciências florestais, Universidade federal do Acre (UFAC), E-mail: maria.cintia@sou.ufac.br

4 Doutor em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Acre (UFAC), E-mail: paulo.trazzi@ufac.br

1.INTRODUÇÃO

A utilização de substratos de baixo custo e de origem regional é uma estratégia viável para pequenos produtores, que permite a redução de despesas com insumos e, ao mesmo tempo, favorece o aproveitamento de resíduos orgânicos provenientes das cadeias produtivas locais (Kayama; Abebe; Birhane, 2021). Atualmente, existe uma busca constante por substratos regionais que possam substituir os substratos comerciais utilizados na produção de mudas, com o objetivo de reduzir os custos de produção e promover o uso sustentável dos recursos locais (Silva et al., 2020).

Esforços têm sido direcionados para a substituição de componentes de substratos comerciais por materiais de baixo custo, renováveis e amplamente disponíveis nas diferentes regiões agrícolas (Pérez-González et al., 2021). Estudos têm demonstrado a viabilidade do uso de diversos resíduos como substratos alternativos, incluindo esterco curtido (Pereira et al., 2017), resíduos do extrativismo florestal (Corrêa et al., 2019) e resíduos da agroindústria (Silva et al., 2015). Os resíduos da agroindústria surgem como uma alternativa promissora para a formulação de substratos, uma vez que são encontrados em abundância, possuem distribuição regional e podem ser adquiridos a preços acessíveis (Almeida et al., 2021). A utilização desses resíduos não apenas reduz os impactos ambientais associados ao descarte inadequado, mas também promove a economia circular, agregando valor a materiais que antes eram considerados rejeitos dando uma destinação vantajosa enquanto substrato para mudas (Wijaya et al., 2022; Souchie et al., 2011).

Uma das maneiras de incorporar esses resíduos como substrato é a produção de *biochar*, um composto proveniente de pirólise que contribui para a melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do meio que ele compõe (Lehmann, Joseph, 2012; Xu et al., 2023). A eficiência desse material, no entanto, está diretamente relacionada ao tipo de cultura implantada, sendo essencial a realização de estudos específicos para cada espécie de interesse (Noyce et al., 2017).

O ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC) Mattos), pertencente à família Bignoniaceae, que ocorre em solos úmidos, apresenta crescimento moderado, é tolerante a um sombreamento médio durante a fase jovem e possui uso diversos (Carvalho, 2003). Por essa razão é uma espécie recomendada para projetos de reflorestamento destinados à recomposição vegetal de ambientes degradados e áreas de preservação permanente (Lorenzi; Matos, 2002).

Em campo, apresenta boas taxas de crescimento em diversos tipos de solo, desde que possuam fertilidade de média a alta, sejam profundos, bem drenados e apresentem textura variando de franca a argilosa (Carvalho, 2003). Quando se está em ambiente controlado, entre as especificações para a produção de mudas de ipê-roxo, recomenda-se o uso de substrato composto por terra de subsolo e material orgânico na proporção de 1:1 (Cunha et al. 2005).

O presente estudo, portanto, tem como objetivo avaliar a produção de mudas de *Handroanthus Impetiginosus* em substratos compostos por diferentes concentrações de *biochars* de resíduos da agroindústria amazônica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DOS *BIOCHARS*

Para a realização deste experimento, foram utilizados *biochars* produzidos a partir de três tipos de resíduos agroindustriais amplamente disponíveis no estado do Acre: casca de castanha-do-brasil, caroço de açaí e casca de cupuaçu. Esses resíduos foram previamente selecionados devido à grande quantidade descartada na região, o que representa uma oportunidade de reaproveitamento sustentável. O processo de produção do *biochar* ocorreu em um forno de pirólise artesanal localizado na Colônia Baixa Verde, no município de Plácido de Castro, Acre. O equipamento utilizado foi um forno caseiro de barro, onde os resíduos foram previamente secos ao sol e, posteriormente, inseridos para serem submetidos à pirólise. Durante esse processo, as temperaturas variaram entre 250°C e 450°C, com tempos de exposição distintos, que oscilaram entre 10 e 120 horas, de acordo com a necessidade de cada material, através de monitoramento constante.

2.2 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

Para a execução do experimento em viveiro, foram utilizados tubetes plásticos com capacidade de 120 cm³ como recipientes para a produção das mudas. O substrato utilizado foi preparado com a incorporação dos *biochars* nas proporções previamente determinadas. Após a adição dos materiais, o substrato foi homogeneizado e alocado nos tubetes, preenchendo-os até alcançar aproximadamente 2 cm de distância da borda do recipiente.

As plântulas de *Handroanthus impetiginosus* - ipê-roxo, foram coletadas no Viveiro da Floresta, e a seleção dos indivíduos foi realizada com base em uma padronização visual, garantindo que apenas as mudas que apresentavam pelo menos dois pares de folhas fossem incluídas no experimento. Após a seleção, as mudas foram devidamente embaladas e transportadas para o viveiro da Universidade Federal do Acre (UFAC), onde a pesquisa foi conduzida.

O transporte e a repicagem das plântulas ocorreram em um dia com condições climáticas favoráveis, a fim de minimizar o estresse vegetal. Antes da inserção das mudas nos tubetes as raízes foram lavadas em água corrente para remover resíduos

de substratos anteriores, assegurando que não houvesse interferências externas na análise. Nos casos em que as raízes apresentavam um comprimento excessivo em relação ao tamanho do tubete, foi realizado um leve ajuste na parte radicular, cortando-se o excesso para adequação ao recipiente, garantindo assim uma melhor acomodação e crescimento das plântulas.

O experimento foi estruturado a partir da incorporação dos *biochars* em três diferentes proporções no substrato comercial: 10%, 30% e 50%. Dessa forma, o delineamento experimental em blocos casualizados em esquema 3x3, totalizando nove combinações, com cinco repetições de 10 plantas. Além dessas nove combinações, incluiu-se um tratamento adicional de controle, que consistiu na utilização de 100% de substrato comercial (Quadro 1).

Quadro 1. Esquema fatorial do delineamento em blocos casualizados (DBC) utilizado no experimento em viveiro.

Resíduos	Tratamentos	Composição
Casca de Castanha	CAST10	10% de BC + 90% substrato comercial
	CAST30	30% de BC + 70% substrato comercial
	CAST50	50% de BC + 50% substrato comercial
Casca de Cupuaçu	CUP10	10% de BC + 90% substrato comercial
	CUP30	30% de BC + 70% substrato comercial
	CUP50	50% de BC + 50% substrato comercial
Caroço de açaí	ACAI10	10% de BC + 90% substrato comercial
	ACAI30	30% de BC + 70% substrato comercial
	ACAI50	50% de BC + 50% substrato comercial
Testemunha	SC	100% de substrato comercial

2.3. COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

As mudas utilizadas no experimento foram mantidas sob um telado com sombreamento de 50% e a irrigação foi realizada de acordo com a necessidade das plantas, de modo a manter os substratos constantemente umedecidos. Durante todo o período experimental, foram conduzidas avaliações mensais para monitoramento das características morfofisiológicas das plântulas, iniciando-se a partir do momento da repicagem até a conclusão do experimento, aos 180 dias.

As variáveis de altura da planta (H) e número de folhas (NF) foram analisadas mensalmente, enquanto o diâmetro do coleto (DC) teve medição realizada em intervalos trimestrais utilizando um paquímetro digital de precisão. Ao final do experimento, além da coleta das variáveis mencionadas anteriormente, foram mensuradas as massas secas da parte aérea (MSPA), do sistema radicular (MSR) e a massa seca total (MST).

Para a obtenção desses valores, todas as mudas foram retiradas dos tubetes, lavadas em água corrente para remoção de resíduos do substrato e, em seguida, separadas em parte aérea e sistema radicular utilizando uma tesoura de poda. O material coletado foi acondicionado em sacos de papel kraft devidamente identificados e, posteriormente, levados a uma estufa de circulação forçada, onde permaneceram a uma temperatura constante de 80°C por um período de 48 horas.

Após a secagem, os materiais foram resfriados e submetidos à pesagem utilizando uma balança semi-analítica com precisão de duas casas decimais. A determinação da massa seca da parte aérea e das raízes foi feita individualmente para cada muda, sendo que a biomassa total (MST) foi obtida por meio da soma desses valores.

Os dados experimentais obtidos a partir das características morfológicas foram submetidos a análises estatísticas para verificar sua normalidade e homogeneidade de variância. Para isso, foi aplicada a análise de variância (ANOVA), seguida da comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, permitindo identificar diferenças significativas entre os tratamentos e avaliar a eficácia do uso de *biochars* na composição dos substratos utilizados na produção das mudas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados analisados para o crescimento de mudas de ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus*) em diferentes tratamentos com *biochar*, oriundos de três tipos de resíduos (açaí, castanha e cupuaçu) em três concentrações distintas (10%, 30% e 50%). Os parâmetros avaliados incluem a matéria seca da parte aérea (MSPA), a matéria seca da raiz (MSR), a matéria seca total (MST), a taxa de sobrevivência (SOBREV), diâmetro, altura e o número de folhas.

Tabela 1. Desenvolvimento morfológico de mudas de ipê-roxo submetidas a diferentes concentrações de *biochar* produzidos a partir de casca de castanha, casca de cupuaçu e caroço de açaí.

Tratamento	SOBREV (%)	Diâmetro (mm)	Altura (cm)	Nº Folhas	MSPA (mg)	MSR (mg)	MST (mg)
CAST10	98,0	2,58 ^a	9,40 ^a	3,68 ^a	0,32 ^a	1,67 ^a	1,99 ^a
CAST30	98,0	2,38 ^b	8,99 ^a	4,40 ^a	0,25 ^b	1,35 ^a	1,60 ^a
CAST50	100,0	2,29 ^b	9,92 ^a	3,96 ^a	0,20 ^b	1,24 ^b	1,44 ^b
CUP10	98,0	2,56 ^a	9,07 ^a	4,54 ^a	0,29 ^a	1,69 ^a	1,98 ^a
CUP30	96,0	2,33 ^b	8,62 ^a	3,66 ^a	0,24 ^b	1,02 ^b	1,26 ^b
CUP50	96,0	2,37 ^b	8,03 ^a	3,66 ^a	0,19 ^b	1,08 ^b	1,26 ^b
ACAI10	98,0	2,64 ^a	9,17 ^a	4,62 ^a	0,31 ^a	1,60 ^a	1,91 ^a
ACAI30	100,0	2,43 ^b	8,64 ^a	3,32 ^a	0,21 ^b	1,48 ^a	1,69 ^b
ACAI50	98,0	2,40 ^b	8,65 ^a	3,30 ^a	0,23 ^b	1,29 ^b	1,53 ^b
SC	98,0	2,31 ^b	8,33 ^a	4,88 ^a	0,24 ^b	1,46 ^a	1,70 ^a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância de erro.

A taxa de sobrevivência das mudas de ipê-roxo foi elevada para todas as dosagens de *biochar* para os três resíduos avaliados, com os valores variando entre 96% e 100%. Isso indica que o uso do *biochar*, independentemente do tipo e da concentração, apresentou resultados similares ao substrato comercial, sendo, portanto, uma alternativa viável com relação a mortalidade. Oliveira (2022), também encontrou resultados satisfatórios com o produto em seu experimento, e as mudas produzidas a partir do bio sólido apresentaram-se saudáveis e com uma taxa de sobrevivência de 100%. Com esses dados é possível inferir que a utilização do *biochar* produzido a partir dos resíduos da agroindústria não gera nenhum fator adverso que impeça o desenvolvimento fisiológico e possível mortalidade a curto prazo.

Os resultados estatísticos obtidos não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados para as variáveis de altura e número de folhas, e todas

as dosagens de *biochar* apresentaram desenvolvimento morfológico semelhante ao substrato comercial. Para as demais variáveis houve diferença estatística entre os tratamentos e foi possível identificar que dosagens de *biochar* dos 3 resíduos apresentaram desempenho superior ou similar que a testemunha avaliada.

Com relação ao diâmetro, foi possível observar que houve variação estatística entre os tratamentos avaliados, tanto em relação a composição, quanto em relação ao resíduo utilizado, sendo estatisticamente significativo para os tratamentos de menor adição do produto. Os tratamentos CAST10, CUP10 e ACAI10 apresentaram os melhores resultados em relação aos demais resíduos. Resultados semelhante foram encontrados por Oliveira (2022), já que no experimento conduzido pelo pesquisador as mudas produzidas com biossólido apresentaram parâmetros dendrométricos superiores às mudas produzidas no substrato formulado com fertilização de base e de cobertura.

De acordo com a tabela, os tratamentos com concentrações mais elevadas de *biochar* (30% e 50%) para todos os resíduos avaliados apresentaram os menores resultados de diâmetro do coleto, ainda que similares ao substrato comercial. Isso nos permite inferir que todas as dosagens de *biochar* avaliadas podem ser utilizadas para composição de substrato, sendo as doses menores mais eficazes para melhorar o desenvolvimento morfológico.

Esses resultados foram mais promissores que as experiências encontradas em literatura para a utilização do biossólido em mudas de ipê-roxo. Oliveira (2022), mencionou que em seu experimento não houve significância para a interação entre os fatores para nenhuma das variáveis morfológicas. Ribeiro et al. (2018), ao avaliar o potencial do biossólido como componente de substrato para a produção de mudas de *Libidibia ferrea*, *Poincianella pluviosa* e *Handroanthus impetiginosus* (mesma espécie utilizada neste estudo), também não encontrou diferença significativa com relação as variáveis morfológicas em comparação com outros substratos orgânicos.

Os resultados obtidos para a altura, indicaram que os três resíduos de *biochar* apresentaram crescimento semelhante ao tratamento com substrato comercial. O fato de não haver diferença estatística entre os tratamentos indica que esses *biochars* proporcionaram desempenho morfológico equivalente ao insumo, o que é bastante promissor. Isso sugere que os resíduos utilizados na produção dos *biochars* podem ser alternativas viáveis para composição do substrato em relação a essa variável,

contribuindo para o reaproveitamento de materiais orgânicos e reduzindo custos na produção de mudas, sem comprometer o crescimento inicial das plantas.

Resultados semelhantes foram encontrados por outros autores como Alves (2016), que durante a condução do seu experimento observou que os substratos compostos de solo + casca de arroz carbonizada e solo + casca de arroz carbonizada + pó de coco + esterco bovino proporcionaram a obtenção de mudas de qualidade, indicando seus potenciais para produção de mudas de ipê-roxo. Abreu et al. (2017), também observou que as mudas produzidas nos três tratamentos compostos por substrato constituído de 100% de lodo de esgoto obtiveram resultados de crescimento superiores aos demais tratamentos.

A tabela acima ainda apresenta os resultados encontrados para o número de folhas nos tratamentos, um importante parâmetro de crescimento da planta, já que interfere diretamente na fotossíntese (Ripley et.al.,2004). Segundo análise estatística não houve diferença significativa entre os tratamentos, e de um modo geral é notável que o desempenho dos *biochars* foi similar ao desempenho do substrato comercial para todas as dosagens avaliadas.

No entanto as médias encontradas nesse experimento estão abaixo do comparativo encontrado em literatura. Em estudos com mesmo período de condução do experimento realizado, foi possível verificar um desenvolvimento maior das folhas, com médias variando entre 4,03 e 8,36 (Siqueira, 2022). No entanto é necessário considerar alguns estresses que as mudas foram submetidas pelo período de condução ter sido realizado no verão Amazônico, o que pode ter impactado nesse crescimento.

Entre os parâmetros analisados, a variável massa seca da parte aérea - MSPA apresentou valores mais elevados nos tratamentos utilizando *biochar* nas proporções de 10%, para todos os resíduos utilizados (CAST10, CUP10 e ACAI10). Esses tratamentos obtiveram valores significativamente superiores aos demais tratamentos, incluindo a testemunha contendo substrato comercial, sugerindo que essas combinações de *biochar* favoreceram um maior desenvolvimento da parte aérea das plantas.

A tabela indica que as dosagens de 30%, 50% e 100% para todos os resíduos avaliados obtiveram resultados semelhantes ao substrato comercial, portanto, apesar de não terem se destacado, ainda podem ser considerados adequados para utilização enquanto composição de substrato para mudas. Esse resultado difere dos valores

encontrados por Silva et al. (2022), que identificou em sua pesquisa que apesar de compostos com 100% de *biochar* não apresentarem resultados positivos, associar o *biochar* em proporções de até 25% com outro material de origem orgânica, como o substrato comercial, confere ao composto melhorias nos atributos físico-químicos.

De forma semelhante, a análise da massa seca radicular - MSR indicou que também houve resultados positivos para as dosagens em 10% dos 3 resíduos avaliados (CAST10, CUP10 e ACAI10). Em adição também foram considerados estatisticamente similares os valores para os tratamentos de CAST30, ACAI30 e substrato comercial, evidenciando uma possível influência positiva desses *biochars* na biomassa radicular e no crescimento geral das plantas.

Esses valores corroboram os dados encontrados por Petter et.al. (2012) que ao avaliar o desenvolvimento de plantas sobre substratos contendo ou não *biochar*, observou um efeito positivo na massa das raízes cultivadas nos substratos que continham 7% e 15% de *biochar* de eucalipto em mistura, contudo, esses valores foram inferiores quando comparados ao substrato puro (sem *biochar*).

O estudo de Basílio (2020), no entanto, contradiz os dados acima, pois em seu estudo foi constatado que em os tratamentos contendo *biochar*, independente da granulometria utilizada, se mantiveram abaixo dos valores obtidos ao substrato comercial sem adição de *biochar*, para a variável de MSR. Portanto, apesar do *biochar* influenciar o desenvolvimento do sistema radicular, alguns autores sugerem parcimônia pois deve-se levar em consideração que essa afirmação irá depender do tipo de *biochar* utilizado e a espécie a qual irá ser empregada (Olmo et al., 2016).

Para a variável de massa seca total foi possível encontrar diferença estatística que seguiu a mesma tendência da massa seca da raiz, com valores maiores para os tratamentos com 10% (CAST10, CUP10 e ACAI10), CAST30 e substrato comercial. Dessa maneira é possível inferir que essas 4 composições de substrato apresentam potencial para utilização na produção de mudas de ipê-roxo, já que ambos os resíduos apresentaram desenvolvimento morfológico similar ao insumo disponível a venda.

Assim, para os valores de MSPA, MSR e MST os resultados do presente estudo foram similares aqueles encontrados em literatura por alguns autores como Siqueira (2022) que observou valores similares ao substrato comercial. Em outro estudo, a combinação dos índices de massa seca, na concentração de 8,3% de *biochar*, manteve um equilíbrio na distribuição de biomassa na muda (Soares et.al., 2021),

assim como no experimento avaliado por essa tese, que obteve em dosagens menores (10%) seus resultados mais satisfatórios

O fato dos três *biochars* produzidos a partir de resíduos apresentarem desempenho equivalente ao substrato comercial em termos de crescimento das mudas é extremamente positivo. Isso demonstra que os *biochars* têm potencial para substituir o substrato comercial sem comprometer o desenvolvimento das plantas. A ausência de diferença estatística entre os tratamentos reforça a viabilidade do uso desses resíduos como insumos alternativos, contribuindo para um descarte mais eficiente e agregação de valor nas cadeias produtivas da Amazônia.

Apesar das dosagens com 10% do produto terem se destacado positivamente no presente estudo, essa porcentagem ainda difere na literatura de acordo com a espécie utilizada e o tempo de duração do experimento. Estudos de curto prazo recomendam a adição de doses menores de *biochar*, como Siqueira (2022), que recomenda 30% de *biochar* na composição de substratos para produção de mudas de *Tabebuia aurea* e de 20% para as mudas de *Handroanthus impetiginosus*. Enquanto para estudos os efeitos do *biochar* se manifestam de forma progressiva para doses maiores (Kong et.al., 2014).

Assim, a contribuição desse trabalho pode servir como base para novos estudos complementares voltados à longevidade do uso do *biochar* e sua efetividade como componente de substratos. Nesse sentido, é necessário aprofundar as pesquisas, especialmente no que diz respeito à viabilidade econômica da substituição dos insumos e os efeitos do *biochar* sobre o crescimento das plantas em um período temporal mais extenso. Isso permitirá avaliar com maior precisão o potencial do *biochar* produzidos a partir de resíduos da agroindústria amazônica para a produção de mudas.

4. CONCLUSÃO

Os *biochars* avaliados apresentaram resultados semelhantes entre si e ao substrato comercial nas variáveis de altura, número de folhas, MSPA, MSR e MST, portanto o insumo apresenta potencial para substituir parcialmente o substrato comercial, que envolve maior investimento financeiro.

Recomenda-se a dosagem de 10% para os 3 resíduos da agroindústria amazônica, pois esta concentração apresentou melhores resultados em diâmetro, única variável que diferiu positivamente em relação ao substrato comercial.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou que o uso de *biochar* derivado de resíduos agroindustriais pode ser uma alternativa de descarte adequado e um composto eficaz para o cultivo de mudas de *Handroanthus impetiginosus*. No entanto, os efeitos do *biochar* variam conforme sua origem e concentração, sendo essencial análises mais amplas antes de sua aplicação em larga escala.

A implementação de processos de pirólise em pequena escala pode ser alternativa viável para comunidades rurais, permitindo o aproveitamento sustentável de resíduos agroindustriais e a geração de produtos de valor agregado para a agricultura. No entanto, futuras análises de custo-benefício do produto deve considerar os custos diretos de produção e os benefícios socioambientais proveniente da utilização.

Estudos futuros podem explorar a influência desses materiais a longo prazo, bem como sua interação com diferentes espécies florestais e condições ambientais. Assim, o *biochar* se apresenta como uma ferramenta promissora para a produção sustentável de mudas, contribuindo para práticas agrícolas e silviculturais mais eficientes.

A realização deste trabalho foi marcada por inúmeros desafios, exigindo um esforço contínuo para superar obstáculos que surgiram ao longo do processo. A implementação do experimento demandou muito mais do que o esperado inicialmente e diversas dificuldades surgiram durante a implementação, com imprevistos que comprometeram etapas essenciais e exigiram constantes ajustes. Em muitos momentos, as adversidades pareceram insuperáveis, tornando o avanço do estudo um verdadeiro teste de persistência e resiliência.

Apesar das dificuldades, a conclusão deste trabalho só foi possível graças a uma combinação de dedicação, determinação e empatia. Diante de cada problema enfrentado, a convicção na importância do estudo e a confiança em sua conclusão foram fundamentais para seguir em frente. No final, mais do que um conjunto de resultados, este trabalho representa a superação de inúmeros desafios, inclusive pessoais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. H. M.; MARZOLA, L. B.; MELO, L. A.; LELES, P. S. S.; ABEL, E. L. S.; ALONSO, J. M. **Urban solid waste in the production of *Lafoensia pacari* seedlings. *Agriambi*, v. 21, n. 2, p. 83- 87, 2017.**

ABREU, A.H.M.; LELES, P.S.S.; MELO, L.A.; FERREIRA, D.H.A.A.; MONTEIRO, F.A.S. Produção de mudas e crescimento inicial em campo de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas em diferentes recipientes. ***Floresta*, Curitiba, v. 45, n. 1, p. 141-150, 2015.**

ALMEIDA et.al. Reaproveitamento de resíduos de café em substratos para produção de mudas de *Joannesia princeps*. ***Pesq. flor. bras.*, Colombo, v. 41, 2021.**

ALVES, F.J.B.; **Crescimento inicial e qualidade de mudas de ipê-roxo (*handroanthus impetiginosus* (mart. ex dc) mattos) produzidas em diferentes substratos.** 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, 2016.

ARAUJO, Danilo Dias de. **Efeito do *biochar* de lodo de esgoto no crescimento inicial de mudas de *Erythrina velutina* willd.** 2016.

ANTONIAZZI, A. P.; BINOTTO, B.; NEUMANN, G. M.; SAUSEN, T. L.; BUDKE, J. C. Eficiência de recipientes no desenvolvimento de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae). ***Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 313 - 317, 2013.**

BASÍLIO J.J.N. et.al. *Biochar* de casca de pequi como componente de substrato para produção de mudas de *Eucalyptus urophylla* S. T. ***Cad. Ciênc. Agrá.*, v. 12, p. 01–1, Setembro, 2020.**

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**; Colombo: Embrapa Florestas, 2003.

COLANTONI, Andrea et al. Characterization of biochars produced from pyrolysis of pelletized agricultural residues. ***Renewable and sustainable energy reviews*, v. 64, p. 187-194, 2016.**

CONZ, R.F.; **caracterização de materias-primas e *biochars* para aplicação na agricultura.** Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2015.

CORRÊA et.al. Reaproveitamento de resíduos orgânicos regionais agroindustriais da Amazônia Tocantina como substratos alternativos na produção de mudas de alface. ***Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 9, n. 1, p. 97-104, 2019.**

COSTA, A.N.M.; **Produção de mudas de tomate irrigada com água salobra em diferentes substratos.** Trabalho de Conclusão de curso. Universidade da integração internacional da lusofonia afrobrasileira instituto de desenvolvimento rural. redenção. Junho - 2023

CUNHA, A. O.; ANDRADE, L. A.; BRUNO, R. L. A.; SILVA, J. A. L.; SOUZA, V. C. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex DC) Standl. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 507-516, 2005.

DITTAKIT, Parichat et al. Properties of biochar from Coconut Waste and Application in Agriculture. **ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports**, v. 26, n. 1, p. 52-58, 2023.

FILHO, L.P. et. al.; Produção de mudas de *Ceiba speciosa* em diferentes volumes de tubetes utilizando o bio sólido como substrato. **Ci. Fl., Santa Maria**, v. 29, n. 1, p. 27-39, jan./mar., 2019.

FILHO, L. P. **Bio sólido na restauração florestal: produção de mudas e adubação de plantio**. 98f. 2015.

GONÇALVES, F. C. M.; ARRUDA, F. P.; SOUSA, F. L de; ARAÚJO, J. R. Germinação e desenvolvimento de mudas de pimentão cubanelle em diferentes substratos. **Revista mirante**, Anápolis, v. 9, n. 1, jun. 2016.

JURIGA, Martin; ŠIMANSKÝ, Vladimír. Effect of biochar on soil structure—Review. **Acta Fytotech. Zootech**, v. 21, p. 11-19, 2018.

KAYAMA, Masazumi; ABEBE, Buruh; BIRHANE, Emiru. Effects of Biochar on the Growth of *Vachellia etbaica* and *Faidherbia albida* Planted in Tigray, Northern Ethiopia. **Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ**, v. 55, n. 4, p. 367-378, 2021.

KONG, L.L. et al. Biochar: An Effective Amendment for Remediating Contaminated Soil. In: Whitacre, D. (eds) **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology** Volume 228. Springer, Cham., 2014.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and technology**. Routledge: London, 2012.

LOPES, Dalila Araújo et al. **Biocarvão de bio sólido na composição de substratos para a produção de mudas florestais**. 2019.

LORENZI.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, p. 196-197, 2002.

MCELLIGOTT, K. M.; COLEMAN, M. **Biochar Amendments to Forest Soils: Effects on Soil Properties and Tree Growth**. 2011. University of Idaho: Moscow, Idaho, USA.

NOYCE, Genevieve L. et al. Phosphorus uptake and availability and short-term seedling growth in three Ontario soils amended with ash and biochar. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 97, n. 4, p. 678-691, 2017.

OLIVEIRA, C.L.S. **Mudas de *Handroanthus impetiginosus* (MART. EX DC.) Mattos produzidas para arborização urbana: uso de bio sólido e manejo de recipientes**. 32f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Silvicultura, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

OLMO, M.; VILLAR, R, SALAZAR, P, ALBURQUERQUE J. A. Changes in soil nutrient availability explain biochar's impact on wheat root development. **Plant and Soil**. V. 339, p: 333-343, 2016.

PEREIRA et.al. Substratos orgânicos na produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 2, p. 17-26, 2017.

PÉREZ-GONZÁLEZ et.al. Evaluación de biocarbón de caña de azúcar en el desarrollo de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. en condiciones de vivero. **Terra Latinoamericana**, v.39, p.1-9. Ed.1343. Dezembro, 2021.

PETTER, et al. *Biochar* como condicionador de substrato para a produção de mudas de alface. **Agrarian**, v. 5, n. 17, p. 243-250, 2012.

RIBEIRO, J. G. et al. Biossólido na composição de substratos para produção de mudas de duas espécies florestais utilizadas na arborização urbana. **REVSBAU**, Curitiba-PR, v. 13, n.2, p. 01-12, 2018.

RIPLEY, B. S.; REDFERN, S. P.; DAMES, J. Quantification of the photosynthetic performance of phosphorus-deficient *Sorghum* by means of chlorophyll-a fluorescence kinetics. *South African Journal of Science*, v.100, n.11, p.615-618, 2004.

SILVA et.al. Produção de mudas de juçara com resíduos agroindustriais e lodo de esgoto compostados. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 9, n. 2, p. 109-121, 2015.

SILVA et.al. Qualidade de mudas de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) produzidas em substratos compostos por resíduos do agroextrativismo amazônico. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v. 6, n. 11, p.84526-84538, nov. 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/19279/15469>
Acesso em: 20 Set. 2024.

SILVA, M.S.A. et al.; Biochar from *Caryocar brasiliense* as a soil conditioner for common bean plants. **Ciência Rural**. V. 52, nº7. Fevereiro, 2022.

SIQUEIRA, E.S.; **Uso de biochar na composição de substratos para a produção de mudas florestais**. 64f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Macaíba, RN, 2022.

SOARES, D.C.O. et.al. Uso do *biochar* e de bioestimulante na produção e qualidade de mudas de *Sapindus saponaria* L. **Ci. Fl.**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 106-122, jan./mar. 2021

SCHMITZ, José Antônio Kroeff; SOUZA, Paulo Vítor Dutra de; KÄMPF, Atelene Normann. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, v. 32, p. 937-944, 2002.

SOUCHIE, Fabiane Furlaneto et al. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* LG Silva & HC Lima. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 811-821, 2011.

VELÁZQUEZ MACHUCA, Martha Alicia et al. Caracterización física y química de biochar de lodos residuales. **Terra Latinoamericana**, v. 37, n. 3, p. 243-251, 2019.

WIJAYA, Bangun Adi et al. Meranti (*Shorea* sp.) biochar application method on the growth of sengon (*Falcataria moluccana*) as a solution of phosphorus crisis. **Energies**, v. 15, n. 6, p. 2110, 2022.

XU, Peng et al. Progresso da pesquisa sobre os efeitos do *biochar* no ambiente do solo e na absorção e utilização de nutrientes da cultura. **Sustentabilidade**, v. 15, n. 6, p. 4861, 2023.