INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO -ATU

BIOCHAR, ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL NO CRESCIMENTO INICIAL DE PAU-ROSA (*Aniba rosaeodora* DUCKE) EM LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO DA AMAZÔNIA CENTRAL

JOÃO CLEBER CAVALCANTE FERREIRA

Manaus-Amazonas
Fevereiro, 2022

JOÃO CLEBER CAVALCANTE FERREIRA

BIOCHAR, ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL NO CRESCIMENTO INICIAL DE PAU-ROSA (*Aniba rosaeodora* DUCKE) EM LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO DA AMAZÔNIA CENTRAL

Orientador: Dr. Newton Paulo de Souza Falcão.
Coorientadora: Dra. Danielle Monteiro de Oliveira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido – ATU do Instituto Nacional de pesquisas da Amazônia - INPA, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agricultura no Trópico Úmido.

Manaus, Amazonas
Fevereiro, 2022

Folha de Aprovação

Banca Julgadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

TÍTULO: "Biochar, adubação orgânica e mineral no crescimento inicial de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia Central"

AUTOR:

João Cleber Cavalcante Ferreira

BANCA JULGADORA:

Dra. Sônia Sena Alfaia (INPA)
(Membro)

Dr. Paulo de Tarso Barbosa Sampaio (INPA)
(Membro)

Dr. Antenor Pereira Barbosa (INPA)
(Membro)

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO - PPG ATU
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Av. André Araújo, nº 2936 – Bairro: Petrópolis - Manaus/AM - CEP: 69.067-375
Fone: (92) 3643-1844
Site: http://pg.inpa.gov.br e-mail: ppgatu@gmail.com

Catalogação na Publicação (CIP-Brasil)

F383 Ferreira, João Cleber Cavalcante
Biochar, adubação orgânica e mineral no crescimento inicial de pau-rosa (*aniba rosaeodora* ducke) em latossolo amarelo distrófico da amazônia central / João Cleber Cavalcante Ferreira; orientador Newton Paulo de Souza Falcão; coorientadora Danielle Monteiro de Oliveira. - Manaus:[s. l.], 2022.

2.3 MB
58 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós Graduação em Agricultura do Trópico Úmido) -- Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2022.

1. Fertilidade do solo. 2. Nutrição de plantas. 3. Pau-rosa. I. Falcão, Newton Paulo de Souza. II. Oliveira, Danielle Monteiro de. III. Título

CDD 631.422

Aos meus pais Jocélia Cavalcante e Claudio Ferreira, pela própria existência e pelos valiosos ensinamentos e princípios de vida, que me educaram através dos bons exemplos e por sempre estarem ao meu lado em minhas decisões.

Aos meus avós maternos José Maria e Deuza que formaram uma base familiar com muito respeito, dignidade e honestidade.

Aos meus irmãos Camila, Carla, João Paulo e Márcio pelo companheirismo.

Á minha namorada Rafaelle Aoki por estar sempre ao meu lado, nas alegrias e nas adversidades;

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e pelas vitórias alcançadas.

A minha família pelo amor incondicional e em especial minha mãe Jocélia Cavalcante pelo apoio incansável ao longo de toda a minha vida e neste percurso.

À minha tia Patrícia Cavalcante por sempre me apoiar nos estudos.

Ao meu orientador Dr. Newton Falcão, pela confiança, amizade e contribuição com a minha formação profissional.

À minha coorientadora Dra. Daniele Monteiro Oliveira pela orientação e pelas oportunidades.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido pela oportunidade da realização do curso de Mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão da bolsa de estudo.

Aos docentes e servidores do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia pelos conhecimentos e ensinamentos, em especial ao professor Dr. Rogério Eiji Hanada.

Aos técnicos do Laboratório Temático de Solos e Plantas, em especial, Mozanei Porfirio da Trindade e Jonas de Oliveira Moraes pela imensa ajuda na condução deste trabalho em campo e em laboratório.

Aos técnicos e funcionários terceirizados da Estação Experimental de Fruticultura Tropical (EEFT) do INPA, pela ajuda, atenção, e boa convivência durante a condução do experimento.

Aos colegas do Grupo Terra Preta Nova, pelas trocas de experiência e boa convivência, em especial Ana Beatriz, Rúbia Ribeiro, Jaíne Calabazas, Klisman Almeida e Heitor Marcel.

A empresa Mil Madeireira Preciosas LTDA, pela disponibilização do biochar utilizado na pesquisa.

E a todas as outras pessoas que aqui não foram mencionadas, mas que contribuíram de alguma forma na realização deste trabalho.

Muito obrigado

*“*Há homens que lutam um dia, e são bons;

Há outros que lutam um ano, e são melhores;

Há aqueles que lutam muitos anos, e são muito bons;

Porém há os que lutam toda a vida

Estes são os imprescindíveis. *”*

Bertold Brecht

RESUMO

O êxito de plantios florestais depende, dentre outros fatores, do conhecimento acerca dos aspectos silviculturais das espécies. O pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) espécie com alto valor econômico na Amazônia brasileira, tem demonstrado potencial para formação de plantios homogêneos e sistemas agroflorestais, porém ainda são incipientes os conhecimentos sobre aspectos de nutrição e adubação desta espécie. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do biochar, adubação orgânica e mineral na fertilidade do solo, estado nutricional e desenvolvimento inicial de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* D.) em condições de campo num Latossolo Amarelo Distrófico da Amazônia Central. O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Fruticultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, em Manaus–Amazonas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos (T1-controle; T2-biochar; T3-biochar + esterco de galinha; T4- biochar + adubação mineral; T5-biochar + esterco de galinha + adubação mineral) e três repetições. As características avaliadas foram: Crescimento em altura, diâmetro do coleto, ganho foliar, relação altura/diâmetro, concentrações dos macros (N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Fe, Zn e Mn) nas folhas e os atributos químicos do solo. A adubação não influenciou nas variáveis de crescimento em *A. rosaeodora* até 300 dias após o plantio. Os melhores resultados na melhoria da fertilidade do solo ocorreram nos tratamentos com adição de biochar associado ao esterco de galinha, reduzindo a acidez ativa (H^+) e trocável (Al^{3+}) do solo, aumentando os teores de Ca e Mg trocáveis e P, Zn e Mn disponíveis. A adubação mineral na dosagem aplicada, em combinação com biochar tornou o solo mais ácido e reduziu a disponibilidade de outros nutrientes. As concentrações foliares de K e Ca aumentaram nos tratamentos em combinação biochar e esterco, enquanto que o Mn aumentou a absorção nos tratamentos com acidez elevada. Diante destes resultados, pode-se inferir que plantas jovens de *A. rosaeodora* foram pouco influenciadas pela adubação, indicando baixa exigência nutricional da espécie na fase inicial de crescimento. Adicionalmente, o biochar isolado ou combinado com esterco mostrou ser um ótimo condicionador do solo ajudando a melhorar as suas características químicas.

Palavras-chave: fertilidade do solo, nutrição de plantas, pau-rosa, silvicultura, Amazônia.

ABSTRACT

The success of forest plantations depends, among other factors, on knowledge about the silvicultural aspects of the species. Rosewood (*Aniba rosaeodora* Ducke), a species with high economic value in the Brazilian Amazon, has shown potential for the formation of homogeneous plantations and agroforestry systems, but knowledge about aspects of nutrition and fertilization of this species is still incipient. In this context, the objective of this study was to evaluate the effect of biochar, organic and mineral fertilization on soil fertility, nutritional status and initial development of rosewood (*Aniba rosaeodora* D.) under field conditions in a Dystrophic Yellow Latosol of Central Amazon. The experiment was carried out at the Experimental Station of Tropical Fruticulture of the National Institute for Research in the Amazon-INPA, in Manaus-Amazonas. The experimental design used was in randomized blocks, with five treatments (T1-control; T2-biochar; T3-biochar + chicken manure; T4- biochar + mineral fertilization; T5-biochar + chicken manure + mineral fertilization) and three replications . The characteristics evaluated were: Height growth, stem diameter, leaf gain, height/diameter ratio, concentrations of macros (N, P, K, Ca, Mg) and micronutrients (Fe, Zn and Mn) in leaves and chemical attributes from soil. Fertilization did not influence growth variables in *A. rosaeodora* up to 300 days after planting. The best results in improving soil fertility occurred in treatments with the addition of biochar associated with chicken manure, reducing active (H^+) and exchangeable (Al^{3+}) soil acidity, increasing exchangeable Ca and Mg and P, Zn and mn available. Mineral fertilization in the applied dosage, in combination with biochar, made the soil more acidic and reduced the availability of other nutrients. Leaf concentrations of K and Ca increased in treatments in combination with biochar and manure, while Mn increased uptake in treatments with high acidity. In view of these results, it can be inferred that young plants of *A. rosaeodora* were little influenced by fertilization, indicating low nutritional requirements of the species in the initial phase of growth. Additionally, biochar alone or combined with manure proved to be an excellent soil conditioner, helping to improve its chemical characteristics.

Keywords: soil fertility, plant nutrition, rosewood, forestry, Amazon.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO 1
2.2.OJETIVOS.....3
2.2.1 Objetivo geral..... 3
2.2.2 Objetivos específicos..... 3
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 3
3.1 Características gerais de *A. rosaeodora* 3
3.2 Usos da espécie.....5
3.3. Exigências nutricionais de espécies florestais 5
3.4 Biochar: uma solução proposta.....8
3.5 Características dos solos de terra firme na Amazônia 11
4. MATERIAL E MÉTODOS 12
4.1 Características da área de estudo 12
4.2 Solo da área experimental.....13
4.3 Delineamento experimental e condução do experimento.....14
4.4 Material orgânico.....15
4.5 Produção, seleção e implantação das mudas 16
4.6 Características avaliadas.....16
4.6.1 Atributos químicos do solo 16
4.6.2 Variáveis biométricas..... 18
4.6.3 Concentração de macro e micronutrientes nas folhas 19
4.7 Análises estatísticas 20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 20
5.1 Variáveis de crescimento.....20
5.1.1 Crescimento em altura da parte aérea 20
5.1.2 Crescimento em diâmetro..... 21
5.1.3 Ganho foliar..... 23
5.1.4 Relação altura/diâmetro..... 23
5.2 Atributos químicos do solo.....24
5.3 Correlação entre atributos e nutrientes do solo 32
5.4 Efeito dos tratamentos sobre o Estado Nutricional das plantas.....39
6. CONLUSÕES 44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características químicas e física do Latossolo Amarelo distrófico procedente da Estação Experimental de Fruticultura do INPA, Manaus,AM..... **16**

Tabela 2. Propriedades químicas do biocarvão e do esterco de aves.....**19**

Tabela 3. Resumo da análise de variância para variáveis de crescimento após cultivo em Latossolo Amarelo distrófico típico em função dos tratamentos, Manaus, AM, 2021.....**24**

Tabela 4. Resumo da análise de variância dos parâmetros e atributos químicos do solo para o efeito das adubações após cultivo em Latossolo Amarelo distrófico típico, Manaus, AM.....**28**

Tabela 5. Análise de fertilidade do solo após 12 meses da aplicação dos tratamentos (profundidade 0-20 cm) **31**

Tabela 6. Correlação de Pearson entre os atributos químicos e nutrientes do solo após experimento.....**38**

Tabela 7. Resumo da análise de variância para as concentrações foliares em plantas de *A. rosaeodora* após aplicação de diferentes tratamentos de fertilização.....**39**

Tabela 8. Concentrações médias de nutrientes em folhas de *A. rosaeodora* aos 10 meses após o plantio com aplicação de diferentes tratamentos de fertilização.....**41**

Tabela 9: Correlação de Pearson entre os atributos e nutrientes no solo com a concentração de nutrientes nas plantas de *A. rosaeodora* após o experimento.....**43**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Balanço hídrico da região de estudo do experimento no período de janeiro de 2021 a novembro de 2021. Fonte: Dados da Rede do Inmet. Manaus, AM, 2021**.....16**

Figura 2. Croqui do experimento com os tratamentos e a respectiva distribuição casualizada nos blocos (I, II, III, IV**) 17**

Figura 3. Abertura e preparo das covas de plantio (A); Planta de *Aniba rosaedora* com cobertura de palha e com dois meses de plantio (B); Planta de *Aniba rosaedora* com 8 meses em campo**.....18**

Figura 4. Mudas selecionadas para o experimento (A) e Mudas no viveiro (B) **.....19**

Figura 5. Valores médios e desvio-padrão do crescimento absoluto (CA) e taxa de crescimento absoluto (TCA) em altura de plantas de *Aniba rosaeodora* sob diferentes tratamentos de fertilização**.....24**

Figura 6. Valores médios e desvio-padrão do crescimento absoluto (CA-d) e taxa de crescimento absoluto (TCA-d) em diâmetro de plantas de *Aniba rosaeodora* sob diferentes tratamentos de fertilização**.....26**

Figura 7. Valores médios e desvio-padrão do ganho foliar de plantas de *Aniba rosaeodora* sob diferentes tratamentos de fertilização**.....27**

Figura 8. Valores médios e desvio-padrão da relação atura e diâmetro (H/D) de plantas de *Aniba rosaeodora* sob diferentes tratamentos de fertilização**.....28**

1.INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica apresenta grande diversidade de espécies arbóreas, muitas destas de alto valor comercial (Clay *et al*., 1999). Entre as muitas espécies que fornecem produtos madeireiros e não-madeireiros destaca-se o pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). Arvore da família Lauraceae, possui relevante importância econômica para a região, pois de seus diferentes compartimentos arbóreos é extraído, por destilação o linalol, óleo muito apreciado pela indústria de perfumaria final mundial (Amusant *et al*., 2016; Contin e Contin, 2018; Krainovic *et al.*, 2018).

Após décadas de extração predatória e intenso comércio ilegal de exportação, a espécie foi incluída na lista da Convenção Internacional sobre Espécies da Flora e Fauna Ameaçadas de Extinção – CITES (Lara *et al*., 2021). Alternativas propostas para a produção sustentável de óleo essencial de pau-rosa, são necessárias para manter a indústria e a base genética (Amusant *et al*., 2016). Apesar da grande importância econômica, pouco se sabe sobre as exigências nutricionais no estabelecimento de plantios em campo, sendo umas das dificuldades encontradas pelos produtores que pretendem investir na produção deste recurso florestal (Valencia *et al*., 2010).

Essa espécie é característica do ecossistema de terra firme, onde predominam Latossolos e Argissolos, solos altamente intemperizados, com fortes limitações nutricionais (Sampaio et al., 2003; Falcão *et al*.,2013), sugerindo que tem boa adaptação aos solos de baixa fertilidade (Vieira e Santos, 1987). No entanto, resultados de estudos (Valencia *et al*., 2010; Neves, 2019) tem indicado potencial de resposta nutricional.

Apesar de todo o avanço das pesquisas sobre o manejo da fertilidade de solos com baixa fertilidade, como os que predominam na região, a busca por tecnologias alternativas sustentáveis que potencializem estes solos, deve ser estimulada (Falcão *et al*., 2013; Boechat *et al.*, 2014; Lima *et al*., 2015).

O uso de resíduos orgânicos na agricultura tornou-se importante tecnologia para aumentar a fertilidade do solo e a produção agrícola, pois permite a reciclagem de diversos nutrientes. Além de contribuir com diversas melhorias para as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo que são benéficas para o desenvolvimento das plantas (Berilli *et al*., 2019).

Neste sentido uma tecnologia que surge com grande potencial para uso no meio agrícola em solos de baixa fertilidade natural é o aproveitamento de resíduos da agroindústria para a produção do biochar destinado à aplicação no solo. O biochar é um

potencial condicionador de solo, com estudos baseados nas Terras Pretas de Índio, que são solos férteis de ocorrência na Amazônia (Lone *et al*., 2015; Oliveira *et al*., 2020). É um material rico em carbono pirogênico, obtido através da decomposição térmica do material orgânico que pode ser alternativa viável para algumas localidades da região onde há possibilidade de se produzir ou aproveita-los (Rezende *et al*., 2011; Kloss *et al.*, 2014).

A adição do biochar no solo, promove diversos benefícios agronômicos e ambientais devido sua estrutura químico-física, elevando a produtividade das culturas, diminuindo a lixiviação de nutrientes e custos com fertilizantes. Além disso, é uma maneira de estocar carbono no solo a longo prazo, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa (CO_2, CH_4 e N_2O) (Lehmann e Joseph, 2009; Abdel-Fattah *et al*., 2015; Jin *et al.*, 2016; Li *et al*., 2017).

O biochar tem demonstrado forte influência como condicionador físico, químico e biológico do solo (Falcão *et al.*, 2013) induzindo melhorias nas propriedades físicas como: estrutura, porosidade, distribuição granulométrica e densidade (Busscher *et al.*, 2010). Nas propriedades químicas, apresenta grande potencial para corrigir a acidez do solo e reduzir o alumínio tóxico, além de elevar os teores de potássio e fósforo disponíveis às plantas (Butnan *et al*., 2015; Zielinsk *et al.*, 2015). Nas propriedades biológicas pode influenciar a composição, a diversidade e a atividade microbiana no solo bem como o aumento das taxas de decomposição da matéria orgânica (Gul *et al.*, 2015; Pan *et al*., 2016).

No entanto, estudos têm demostrados que a melhoria da fertilidade do solo e do desenvolvimento vegetal, proporcionados pelo biochar, são maiores quando é combinado com fontes adicionais de adubos orgânico e/ou minerais, (Lima *et al*., 2015; Glaser e Lehr, 2019).

Assim a utilização combinada do biochar com outros compostos orgânicos e /ou fertilizantes minerais, representa alternativa promissora ao manejo da nutrição de plantas, relacionada a uma visão sustentável, tanto econômica quanto ambiental. Essa prática preserva os solos e os fertilizantes minerais, além de destinar corretamente os subprodutos da produção animal e florestal usando-os como insumos agrícolas (Akande *et al*., 2010).

Dessa forma, entende-se que há necessidade de estudos em escala de campo com biochar e adubação, principalmente em espécies nativas com grande potencial econômico, como o pau-rosa, assim podendo contribuir para minimizar os custos com fertilizantes e corretivos, proporcionando condições para o alcance de altas

produtividades, reduzindo o tempo de produção e inserindo a espécie no sistema produtivo com renda ao longo do tempo.

2.2.OJETIVOS

2.2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito do biochar, adubação orgânica e mineral na fertilidade do solo, estado nutricional e desenvolvimento de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* D.) em condições de campo num Latossolo Amarelo Distrófico da Amazônia Central.

2.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as variáveis de crescimento de *A. rosaeodora* até 300 dias após o plantio.
- Verificar alterações nas propriedades químicas do solo em função da adubação com biochar, esterco de galinha e adubação mineral.
- Avaliar o estado nutricional das plantas, após 300 dias da aplicação dos tratamentos.

3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Características gerais de *A. rosaeodora*

O pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) é uma espécie nativa da região Amazônica produtora de óleo essencial, que pertence à família Lauraceae. A espécie é conhecida no Brasil como pau-rosa, pau-rosa-mulatinho, pau-rosa-itaúba e pau-rosa-imbaúba, na Guiana como cara-cara, “rosewood”, na Guiana Francesa como “bois-de-rose”, “bois-de-rose-femelle” (Kubitzki e Renner 1982; Alencar e Fernandes 1978; Ohashi *et al*., 2004).

A árvore de pau-rosa é descrita como de grande porte, podendo atingir 30 m de altura. O tronco é retilíneo e ramifica-se na parte superior para formar uma pequena coroa. Possui casca marrom-amarelada ou marrom-avermelhada, que é separada em grandes placas. Suas folhas são coriáceas ou rígido-cartáceas, simples, alternas, obovadas, elípticas ou obovado-lanceoladas, com 6-25 cm de comprimento e 2,5-10 cm de largura (Sampaio *et al*.,1999; Spironello *et al*., 2004).

Possui o sistema de reprodução por fecundação cruzada, garantida pela ocorrência de dicogamia sincronizada, suas flores são amarelo-ferruginosas, hermafroditas e diminutas com perianto possuindo 6 sépalas eretas, iguais ou às vezes os

externos podem ser menores. Normalmente com 9 estames e largura dos filamentos igual ou menores do que as anteras. As anteras possuem válvulas que se abrem geralmente para cima liberando o pólen. Ovário elipsóide ou ovóide, glabro ou piloso, incluído no tubo floral (Sampaio *et al*., 2003).

O fruto é uma baga glabra, de coloração violáceoescura quando maduro, elipsóide ou subglobosa, com 2-3 cm de comprimento e 1,5-2 cm de diâmetro; está inserido em uma cúpula espessa de 1 cm de comprimento e provida de lenticelas lenhosas; contém 1 semente ovóide, com 2,6 cm de comprimento e 1,5 cm de diâmetro (Alencar e Fernandes 1978).

A forma das sementes é ovoide com tegumento delgado, liso e opaco; de cor marrom-clara com estrias longitudinais marrom-escuras. As sementes possuem dois cotilédones grandes, convexos, duros, lisos, de cor creme. O eixo embrionário é reto, central, próximo à base, com 3 mm de comprimento, e também de cor creme (Sampaio *et al*., 2003).

Apresenta variações conforme a localização geográfica e irregularidade na fenologia reprodutiva. Geralmente a floração acontece de outubro a fevereiro, época com altas taxas de precipitação, começando a decrescer de fevereiro a abril. No período de julho a dezembro, aumenta o número de árvores com poucas ou novas folhas. A frutificação ocorre entre janeiro e agosto, embora existam ocorrências durante todo o ano. A espécie é perenifólia, com mudança das folhas ocorrendo durante a frutificação. Este comportamento anual deve ser levado em consideração para a aplicação dos tratamentos silviculturais e manejo da regeneração natural (Magalhães e Alencar 1979; Ohashi e Rosa 2004).

A germinação das sementes é do tipo hipógea-criptocotiledonar; o processo germinativo está influenciado pelo grau de maturação dos frutos; sementes provenientes de frutos mais maduros apresentam maior porcentagem de germinação (Rosa *et al*. 1999). Entretanto, as sementes não apresentam dormência, apesar de que o tegumento gera certa resistência física à emissão da radícula, porém, a retirada do tegumento reduz à metade os tempos de germinação em relação às sementes intatas (Sampaio *et al.*, 2003).

O pau-rosa ocorre no Brasil, Guiana Francesa, Suriname, Guiana, Venezuela, Peru, Colômbia e Equador. No Brasil, está distribuída na Amazônia, ocorrendo desde o Amapá e estende-se pelos estados do Pará e do Amazonas. É uma espécie da floresta de terra firme e da campinarana, preferindo as cabeceiras dos igarapés em suas partes mais

altas, tanto em Latossolos amarelos e vermelhos quanto em solos arenosos (Ohashi e Rosa 2004).

3.2 Usos da espécie

As plantas aromáticas são de grande importância econômica para a Região Amazônica visto que seus óleos essenciais e usos dos seus aromas são aplicados em diversos processos tecnológicos (Santos *et al*., 2004).

Por ser rico em linalol, a espécie tem a essência largamente empregada como fixador pela indústria de perfumaria fina nacional e internacional, que atualmente, devido aos preços praticados, são utilizados por fabricantes de produtos destinados à classe média alta. O processo de produção do óleo de pau-rosa tradicionalmente consiste na retirada das árvores na floresta, que são cortadas em pequenos cavacos e trituradas para a destilação em usinas móveis próximas à área explorada (Benchimol, 2001; Santos *et al*., 2004).

Todavia, estudos tem demonstrado que o óleo pode ser obtido a partir da destilação das folhas da planta, destacando-se os trabalhos de Araújo *et al*. (1971), ratificados por Ohashi *et al*. (1997) e Barata *et al.* (2001). Eventualmente são encontradas diferenças no aroma entre óleos oriundos de regiões distintas, como as verificadas entre o óleo brasileiro e o franco-guianense (Ohashi e Rosa 2004).

Em estudo sobre as características do óleo extraído das folhas e da madeira, Barata *et al*. (2007) verificaram que as características de ambos foram bem próximas, constatando-se a viabilidade de substituição da extração do óleo do tronco pelo das folhas.

O óleo também já foi testado como acaricida, bactericida e fungicida. Popularmente é utilizado no combate a doenças reumáticas. Pesquisas também apontam para sua aplicação como sedativo e propriedades anticonvulsivas (Barbosa *et al.*, 2005).

Através do desenvolvimento de técnicas de manejo adequado da espécie como adubação e nutrição da planta, assim como do melhoramento genético e também pelo avanço nos métodos de extração, poderá finalmente obter uma redução dos problemas econômicos e garantir o sucesso na produção do óleo essencial de pau-rosa.

3.3. **Exigências nutricionais de espécies florestais**

A nutrição das plantas deve ser um dos fatores mais importantes a serem levados em consideração em projetos de reflorestamento ou florestamento, pois plantas

deficientes nutricional podem comprometer o planejamento apresentando desenvolvimento reduzido sem apresentar sintomas de deficiência nutricionais visíveis (Pinto *et al*., 2011).

Para se obter um bom desenvolvimento, resistência a patógenos e melhor capacidade de adaptação ao novo local, após o plantio é necessário se tenha um teor nutricional adequado (Del Quiqui *et al*., 2004). Todavia, as exigências nutricionais variam com a espécie, solo e com o nível de outros nutrientes no solo, fazendo com que um mesmo nível seja limitante para uma espécie e não seja para outra (Simões *et al*., 1974).

Nesse sentido, é imprescindível conhecer as demandas nutricionais de cada espécie florestal, destacando não só os elementos mais limitantes ao seu crescimento, como também seu comportamento em condições de baixa fertilidade para possibilitar o manejo correto do solo nos quais essas espécies vierem a ser cultivadas. Sendo de grande importância ecológica e econômica em programas florestais (Souza *et al*., 2010).

As combinações apropriadas de fósforo (P) e nitrogênio (N), ou mesmo de os outros nutrientes, podem resultar, por exemplo, em aumentos na área foliar; porque a combinação de diferentes nutrientes estimula a divisão celular e a abertura dos estômatos, com consequente expansão celular (Pooter, 1990).

Autores como Tucci *et al*. (2007) recomendam a correção da acidez e adubação dos solos amazônicos para contornar limitações nutricionais. Esses autores destacam ainda que na região amazônica a acidez é o principal fator limitante ao crescimento de plantas em solos de terra firme. A calagem é uma das práticas agrícolas que mais contribui para o aumento da eficiência dos adubos e da absorção de água e nutrientes pelas plantas (Novais *et al*., 2007). Além de reduzir a acidez do solo, ela aumenta a disponibilidade de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e reduz a concentração do alumínio (Al) tóxico e manganês (Mn) (Sena *et al*., 2010).

Quanto à adubação, sua prática é indicada para aumentar a fertilidade do solo quando esta for abaixo daquilo exigido pela cultura ou para repor os nutrientes perdidos pela exportação dos nutrientes pela retirada da cultura, reduzindo assim as limitações químicas e elevando a produtividade do solo (Francisco e Belote, 2001).

A seguir serão citados alguns trabalhos sobre exigências nutricionais de espécies florestais, onde têm-se verificado resultados positivos de pesquisas com a aplicação de corretivos e fertilizantes no plantio dessas espécies.

Em avaliação do crescimento de quatro espécies florestais produzidas em solos adubados com nove tipos de biocarvão, Pluchon *et al*. (2014) notaram que, em geral, a adição de biocarvão apresentou efeito positivo ou neutro no crescimento das mudas.

De acordo com Lima *et al*. (1997), em espécies como fedegoso (*Senna macranthera*), cássia-verrugosa (*Senna multijuga*), aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius*), canafístula (*Peltophorum dubium*), ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha*), jacarandá-paulista (*Machaerium villosum*) e pau-pereira (*Platyciamus regnellii*), em condições de campo, a aplicação de 20 g de N, 40 g de P2O5e 30 g de K2O por cova elevou consideravelmente o crescimento inicial, com respostas positivas para altura, diâmetro da copa e diâmetro da base.

Souza *et al*. (2006) demonstraram que nutrientes como o P e N são prioritários na fertilização da ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*), seguidos em ordem decrescente por S, B, Zn, Mg, Ca e K. Resultado semelhante foi encontrado em cedro (*Cedrela fissilis*) onde os nutrientes N e P promoveram crescimento satisfatório para a espécie (Souza *et al*., 2009).

Em estudo realizado por Venturin *et al*. (1996), sobre as exigências nutricionais e os efeitos da omissão de nutrientes em plântulas de *Copaifera langsdorffii*, esses autores observaram que o N, P, Ca e Mg são nutrientes limitantes para o crescimento e, nutrientes como o K, B e Zn têm pouca demanda pela árvore.

Em pesquisas referentes aos requerimentos nutricionais do mogno, (*Swietenia macrophylla* King.), em um Latossolo Amarelo distrófico, coletado da camada de 0 a 30 cm de profundidade, Souza *et al.* (2010) concluíram que há necessidade de correção conjunta da acidez e da fertilidade do solo para solos ácidos e de baixa fertilidade natural, mesmo que o teor de matéria orgânica seja considerado alto. Verificaram ainda que o P é o nutriente que mais limita o desenvolvimento da planta, bem como a absorção dos outros nutrientes e que não há necessidade de adição de K para o desenvolvimento das plantas quando se realiza a calagem. O requerimento nutricional do mogno em macronutrientes obedeceu à ordem decrescente de: P>S>K>N.

Valencia *et al*. (2010) estudando a omissão de nutrientes verificaram que para o crescimento em altura o nutriente mais limitante nas plantas de pau-rosa (*A. rosaeodora* Ducke) foi o N em um solo Podizolico-vermelho.

Em estudo para avaliar os requerimentos e limitações nutricionais de mudas florestais, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, Renó *et al*. (1997) verificaram elevada resposta das espécies à adubação completa, aumentando-se a produção de matéria seca

das mudas de canafístula (*Senna multijuga*), cedro (*Cedrela fissilis*), pau-ferro (*Caesalpinea ferrea*) e jacaré (*Piptadenia gonoacantha*), em 67, 17, 82 e 8 vezes, respectivamente, em relação ao tratamento testemunha.

Para espécies de crescimento lento, como as secundárias tardias e clímax, recomenda-se uma menor dose de P solúvel (Furtini Neto *et al*., 2000). Gonçalves *et al*. (2008) seguem a mesma linha, recomendando para as espécies de rápido crescimento o dobro da quantidade de P do que para as espécies de crescimento lento, baseado na quantidade de P existente no solo.

3.4 Biochar: uma solução proposta

Diante das questões ambientais e sociais decorrentes do crescimento populacional, o desenvolvimento de tecnologias para uso na agricultura é uma estratégia fundamental para a sustentabilidade da produção agrícola (Boechat *et al*., 2014). A utilização de recursos subaproveitados ou inaproveitados resultantes das atividades antrópicas constitui prática relevante inserida dentro de um contexto baseado em princípios sustentáveis (Farias *et al*., 2013).

Nesse sentido surge como alternativa o biocarvão conhecido internacionalmente como biochar. É um material sólido rico em carbono pirogênico, produzido em baixa temperatura através da biocarbonização dos resíduos orgânicos de origem animal e vegetal. É também um insumo agrícola que teve sua origem baseada nos estudos de solos férteis encontrados na Amazônia, as Terras Pretas de Índio (TPI) (Teixeira *et al*. 2009; Lehmann e Joseph 2015).

As pesquisas relacionando as TPI´s à agricultura iniciaram aproximadamente no ano 2000. As propostas científicas do uso agrícola do biochar são ainda mais recentes e seus benefícios nas propriedades do solo com efeitos na produção de biomassa e os múltiplos usos e aplicações, tem sido motivo de pesquisa em vários países nas diversas áreas da pesquisa (Madari *et al*., 2012).

Por ser um país essencialmente agrícola, o Brasil gera uma quantidade elevada de resíduos que podem ser convertidos em biocarvão, trazendo benefícios ao meio ambiente (destino de resíduos e fixação de carbono que seria lançado para atmosfera) e na agricultura (Rodrigues, 2016).

Quando incorporado ao solo atua como condicionador, por apresentar propriedades como a estabilidade temporal, a capacidade de retenção de água e de nutrientes e, devido à sua resistência à degradação, a possibilidade de aumentar os

estoques de carbono (C) no solo (Lehmann e Joseph, 2015). Em condições específicas, quando aplicado ao solo, mostra benefícios diversos que levam ao aumento da qualidade física da sua estrutura e a produtividade das culturas (Galinato *et al*., 2011), o que justifica sua utilização como condicionador do solo.

Alguns trabalhos já vêm sendo realizados com a utilização do biocarvão em sistemas de produção, com um aumento médio de 10% na produtividade de inúmeras culturas após a aplicação de biocarvão no solo, como observado no trabalho de meta-análise de (Jeffery *et al*., 2011).

Segundo Ekebafe *et al*. (2013) o aumento no crescimento e produtividade das culturas agrícolas utilizando biocarvão deve-se à melhoria da estrutura do solo, aumento da aeração, infiltração e disponibilidade de água para as plantas; redução da taxa evapotranspiração; aumento da fertilidade do solo; complexação e redução da toxidez de metais pesados sobre as plantas, bem como alívio dos efeitos da salinidade sobre as plantas.

Em estudo realizado por Omil *et al*. (2013) foi verificada respostas significativas para o crescimento em altura, diâmetro e volume de um plantio de *Pinus radiata* e percebeu-se que esse crescimento foi maior após dois anos da aplicação de mistura contendo biochar vegetal, gerado em usinas de energia, e cinzas de madeira mista.

Na avaliação de quatro safras consecutivas, o uso de biocarvão associado com fertilização mineral proporcionou quase o dobro da produção de arroz (*Oryza sativa* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L.) em comparação ao uso apenas de fertilizantes minerais (Steiner *et al*., 2007).

Meneses, (2018) trabalhando com aplicação de 40 t ha^{-1} de biochar e adubação potássica, observou aumento do pH, CTC e os teores de N e P bem como a redução da acidez potencial em Latossolos Amarelos Distróficos.

Em experimento com aplicação de biochar e pó de serra no cultivo de milho Guimarães, (2017) evidenciou maior peso de matéria seca da parte aérea da cultura quando submetida a interação biochar (80 t ha^{-1}) e pó de serra (120 t ha^{-1}). A interação biochar e pó de serragem gerou aumento nos teores de Ca, Mg, K, P e Mn, e na produtividade do milho.

Em um experimento em solos degradados na Indonésia, Islami *et al*. (2011) avaliaram os efeitos benéficos do biocarvão sobre a produtividade da mandioca, que aumentou em 32% após a aplicação de biocarvão na dose 15 Mg ha^{-1}.

Avaliando o crescimento de *Pseudotsuga menziesii* aos 5 anos de idade, Solla-Gullon *et al*. (2006) observaram que a aplicação de biochar de indústria de papel e celulose contribuiu para o crescimento em altura do povoamento em 5,4 e 18% após o quarto ano da aplicação de 10 e 20 t $ha^{-1,}$ respectivamente, quando comparados ao tratamento-controle.

Lima *et al*. (2013) avaliaram a aplicação do biocarvão de diversas matérias primas em Latossolo Vermelho Distrófico na produção de mudas de berinjela e verificaram que o biocarvão de esterco bovino beneficiou principalmente nos parâmetros número de folhas e altura na produção de mudas de berinjela

A qualidade do biochar é dependente do tipo e fonte da matéria-prima utilizada para a sua produção e também das condições utilizadas no tratamento térmico (Mendez *et al*., 2013). O biochar pode ser produzido a partir de uma ampla gama de fontes de biomassa, incluindo materiais lenhosos, resíduos agrícolas, estercos e outros produtos residuais (Downie *et al*., *2007*; Lima *et al.*, 2008; Chan *et al.*, 2008). Aplicação de biochar tem demonstrado diversas vantagens, incluindo a melhoria da qualidade do solo e crescimento de plantas (Chan *et al*. 2007, Chan *et al*. 2008.) e redução das emissões de gases do efeito de estufa a partir de solo (Van Zwieten *et al*., 2009).

O biochar é obtido pela decomposição térmica de materiais orgânicos em fornos com fornecimento limitado de oxigênio e a temperaturas relativamente baixas (<700 °C) (Lehmann e Joseph, 2015). Manter os níveis de matéria orgânica do solo é fundamental para o manejo em regiões tropicais (Goyal *et al*., 1999). Desse modo, o biochar pode ser misturado com composto orgânico ou esterco e aplicado nos cultivos para melhorar e manter a fertilidade dos solos (Ogawa e Okimori, 2010).

A estrutura porosa e a elevada superfície específica dos biochars indicam que são bons adsorventes para uma variedade de substâncias. O biochar pode possuir propriedades hidrofílicas, hidrofóbicas, ácidas e básicas, no entanto, todas reagem com as substâncias da solução do solo (Atkinson *et al*., 2010).

A aplicação de biochar no solo aumenta o pH, a capacidade de troca de cátion e a retenção de água e nutrientes. O composto orgânico por meio da mineralização disponibiliza nutrientes bem como a aplicação de fertilizantes prontamente solúveis no solo. A mistura do biochar com composto orgânico no solo auxilia na retenção de amônio, pois a presença de água nas partículas auxilia na adsorção do íon amônio. Ainda, a presença de enxofre, metais alcalinos terrosos e outros metais arrastados para o interior dos poros das partículas contribuem para retenção de amônia (Spokas *et al*., 2012).

As aplicações de biochar ou em mistura com fertilizantes promovem melhorias na qualidade química do solo, pois proporciona aumentos dos níveis de fósforo em função da capacidade de absorção do biochar. Porém, a sorção de fósforo e sua disponibilidade pode ser influenciada pelo pH do solo, óxidos metálicos e carbonatos. No entanto, com a aplicação de biochar, o pH do solo aumenta devido às reações de consumo de prótons, tais como ligações de troca entre grupos funcionais do biochar com ânions de alumínio e ferro, e pela descarboxilação durante a decomposição parcial da matéria orgânica do biochar (Chintala *et al*., 2014).

Os nutrientes dos fertilizantes podem apresentar variação no solo em curtos períodos e não serem aproveitados pelas culturas. Dessa forma, o biochar promove o uso eficiente dos nutrientes e a manutenção dos teores de fósforo na região de atuação das raízes e minimiza impactos no meio. O biochar no solo pode ser uma fonte de fósforo, cálcio e magnésio para os vegetais. As melhorias obtidas na mistura de biochar com composto orgânico são: aumento da matéria orgânica do solo e da fração de fósforo prontamente disponível (Vandecasteele *et al*., 2016).

O biochar pode ser adicionado no solo para melhorar a qualidade biológica e estocar carbono. A utilização do biochar serve como habitat para os microrganismos e melhora a atividade microbiana no solo, pois pode apresentar poros maiores que os ocupados por bactérias (>0,6 μm) (Dempster *et al*., 2012).

3.5 **Características dos solos de terra firme na Amazônia**

Os solos da Amazônia são oriundos de rochas sedimentares e ígneas, que sofreram ação dos fatores e processos de formação resultando em características distintas, como solos álicos, com baixa capacidade de retenção de cátions e consequentemente baixa fertilidade (Macêdo e Rodrigues, 2000). A região possui elevada diversidade edáfica,geomorfológica e de vegetação, possuindo regiões bem distintas uma das outras (Vale Junior *et al.*, 2011).

Devido as condições bioclimáticas, material de origem e idade, esses solos possuem diferenças significativas, na profundidade, porosidade, capacidade de retenção de cátions, cor, drenagem e fertilidade (Vieira e Santos, 1987; Oliveira *et al*., 1992)

As principais classes de solos encontrados em ecossistema de terra firme na região são os Latossolos e Argissolos que correspondem por 74,7 % do território dessa região, havendo em menor proporção, os Espodossolos, Cambissolos e Neossolos (Sanchez *et al*., 1982; Rodrigues, 1996; Vale Júnior *et al*., 2011).

Esses solos possuem características físicas favoráveis ao uso agrícola, porém com fortes limitações nutricionais (Cravo e Smyth, 1997) como deficiência de macro e micronutrientes, baixa capacidade de troca de cátions e elevada acidez (Sanchez e Cochrane, 1980; Vale Junior *et al.*, 2011). Quimicamente, a maioria dos solos da região são distróficos (V% < 50) ou álicos (m% > 50), com teores de Ca e Mg menores que 1,5 cmolc dm^{-3} (Rodrigues, 1996; Oliveira *et al.*, 2013).

Em termos de importância agrícola, os Latossolos amarelos principalmente na Amazônia Central, têm maior importância pela extensão de sua ocorrência. Dentre as suas principais características destacam-se o avançado estádio de intemperismo, acidez elevada, baixa CTC, maior profundidade e baixa fertilidade natural (Nicholaides *et al.*, 1983; Sombroek, 1984).

No geral são solos de textura média a muito pesada com frações de argila podendo ultrapassar 70 % no perfil, bem drenados e com boa capacidade para reter água (Vieira, 1987; Prado, 2003; Santos *et al*., 2013). Cerca de 95% dos Latossolos são distróficos com pH entre 4,0 e 5,5, e teores de fósforo disponível extremamente baixos, quase sempre inferiores a 1 mg/dm^3 (Sousa e Lobato 2005).

Devido aos valores dos elementos minerais essenciais as plantas estarem sempre abaixo dos valores críticos utilizados na interpretação da análise do solo e os elevados teores de alumínio no solo, geralmente são encontradas baixas produções agrícolas na região, a maior parte ocasionadas pela dificuldade de desenvolvimento das plantas (Demattê, 1988).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Características da área de estudo

O experimento foi instalado na Estação Experimental de Fruticultura Tropical do INPA, localizada no município de Manaus, no Estado do Amazonas, Brasil, Km 42 da BR 174. As coordenadas geográficas locais de referência são 02°37’12’’ S de latitude, 060°02’ 27’’W de longitude e 92 m de altitude. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo *Am*, tropical chuvoso (úmido) com duas estações climáticas bem definidas: uma chuvosa (novembro-junho) e outra seca (julho-outubro).

A precipitação média anual é de 2.300 mm, umidade relativa do ar sempre alta com variação de temperatura entre 23,3 ºC a 31,4 ºC e média anual de 27 ºC (Alvares *et*

al. 2013). A distribuição mensal da precipitação pluviométrica e o balanço hídrico da região de estudo no período em que o estudo foi conduzido estão descritos na Figura 1.

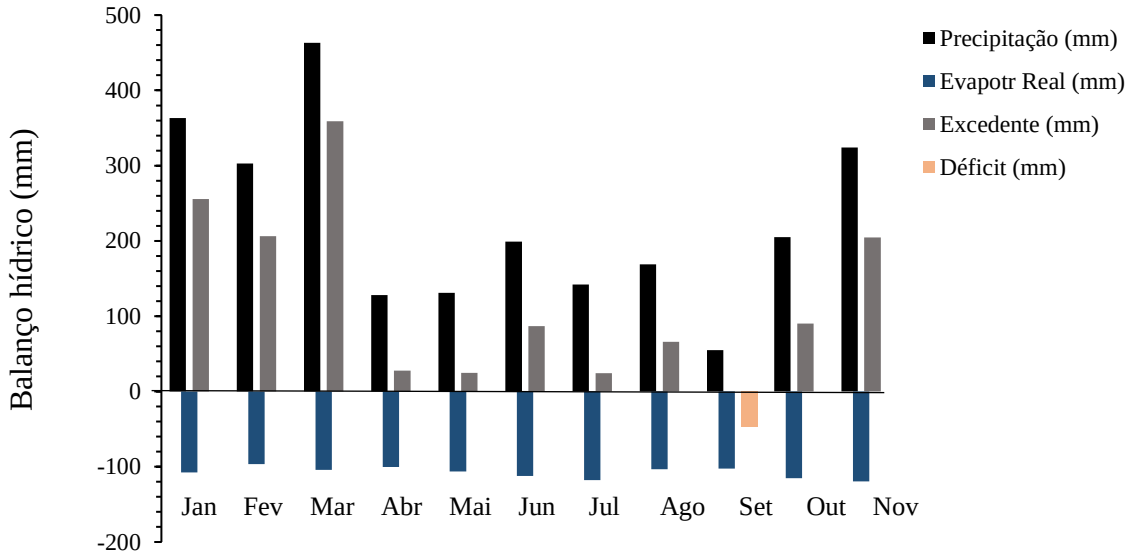

Figura 1. Balanço hídrico da região de estudo do experimento no período de janeiro a novembro de 2021. Fonte: Dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Manaus, AM, 2022.

4.2 Solo da área experimental

O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo distrófico (Santos *et al*.2013). Antes da instalação do experimento, amostras compostas de solo foram coletadas nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm para análise e determinação das características químicas e física no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do INPA (Tabela 1).

Tabela 1: Características químicas e física do Latossolo Amarelo distrófico procedente da Estação Experimental de Fruticultura do INPA, Manaus, AM.

Prof (cm)	pH	Ntotal	K	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	P	Fe	Zn	Mn
	H_2O	g kg^{-1}	--------$cmol_c$ kg^{-1}---------				---------- mg kg^{-1}----------			
0-20	4,78	1,15	0,04	0,99	0,15	0,56	5,15	194	3,43	2,09
20-40	4,63	0,84	0,03	0,23	0,09	0,93	4,29	222	2,39	0,90

Prof (cm)	C	MO	T	t	V	m	Argila	Areia	Silte
	g kg		--$cmol_c$ kg^{1}---		-----%-----		----------g kg^{-1} ---------		
0-20	14,19	24,46	4,86	1,73	24,2	32,3	352	550	98
20-40	10,37	17,88	4,55	1,27	7,6	73,0	409	500	91

T: capacidade de troca de cátions potencial; t: capacidade de troca de cátions efetiva; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; Prof: profundidade.

4.3 Delineamento experimental e condução do experimento

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), com cinco (5) tratamentos (1.Controle; 2. Biochar; 3. Biochar e esterco de galinha; 4. Biochar e adubação mineral NPK 4-14-8 no plantio e 18-00-18 em cobertura; 5. Biochar + esterco de galinha + Formulado NPK 4-14-8 no plantio e 18-00-18 em cobertura) e três (3) repetições, em um total de 15 parcelas experimentais. O experimento teve uma área total de 1.519 m^2, onde cada bloco continha 9,0 m de largura e 45,0 de comprimento em um total de 405,0m^2. Cada bloco continha 5 parcelas de 9,0 m de comprimento por 9,0 m de largura, totalizando 81 m^2 cada.

O plantio de *Aniba rosaeodora* foi realizado em consorcio com clones de café conilon, onde cada parcela possuía três linhas com seis plantas cada, a linha central foi composta pelo pau-rosa, dessas, foram avaliadas as 4 plantas centrais **figura 2**.

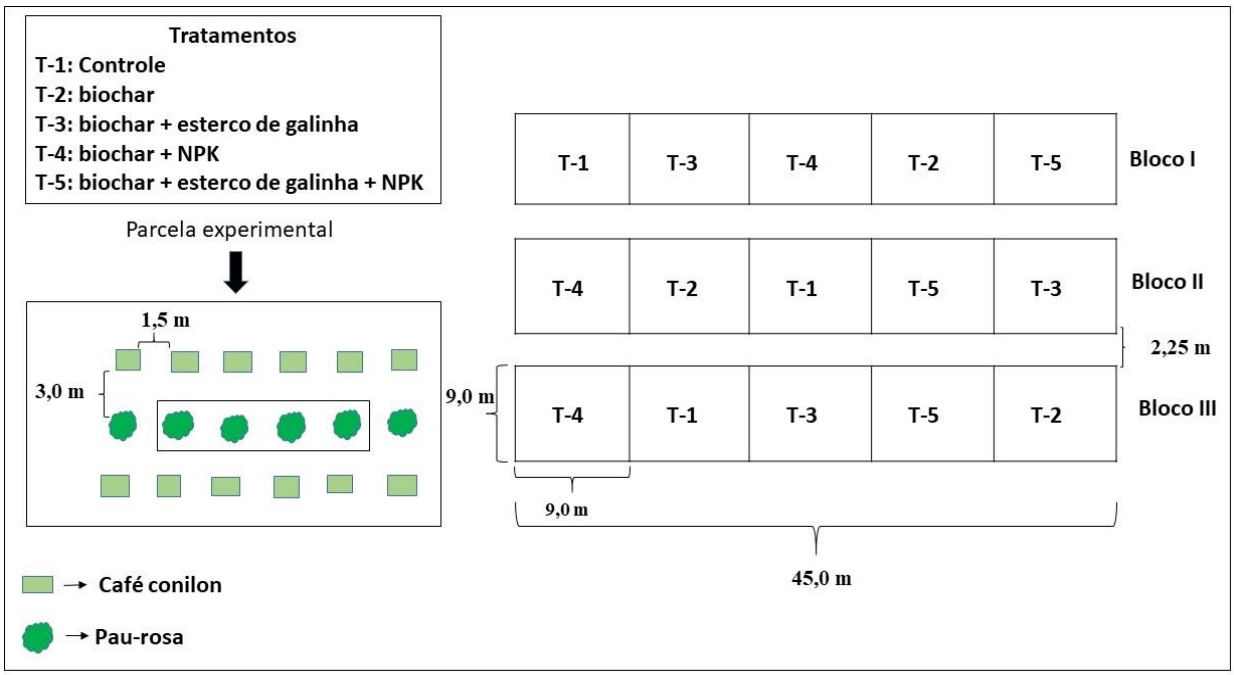

Figura 2. Croqui do experimento com os tratamentos e a respectiva distribuição casualizada nos blocos (I, II, III).

As covas foram preparadas com o material orgânico dois meses antes nas dimensões de 30 x 30x 30cm utilizando-se o espaçamento 3,0 m entre linhas e 1,5 m entre plantas (figura 3A). O plantio das mudas de *Aniba rosaeodora* foi realizado na primeira quinzena de fevereiro de 2021. Não foi realizada a correção do solo com calcário, pois um dos objetivos foi avaliar o efeito do biochar sobre o pH e na neutralização do alumínio.

O material orgânico foi aplicado ao solo em dose total nas quantidades 10 t ha^{-1} de biochar e 6,66 t ha^{-1} de esterco de galinha, o equivalente a 4,5 e 3,0 kg $cova^{-1}$

respectivamente. Com relação a adubação mineral foram aplicados 300 g/planta do formulado NPK (4-14-8) no plantio e 200g do formulado NPK (18-00-18) em cobertura parcelado em duas vezes.

Durante a condução do experimento foram realizados tratos culturais, tais como controle de plantas invasoras e o controle de pragas como gafanhotos (*Schistocera* spp.), moscas-brancas (*Aleurodicus cocois* (Curtis)) e lagartas (Lepidópteras) por meio da utilização de inseticida com princípio ativo Deltametrina, na dose de 200 ml ha^{-1}. Sempre que necessário as plantas foram irrigadas manualmente. Outro manejo importante foi a cobertura das plantas de pau-rosa com palhas de palmeiras visando diminuir a radiação solar direta (figura 3B).

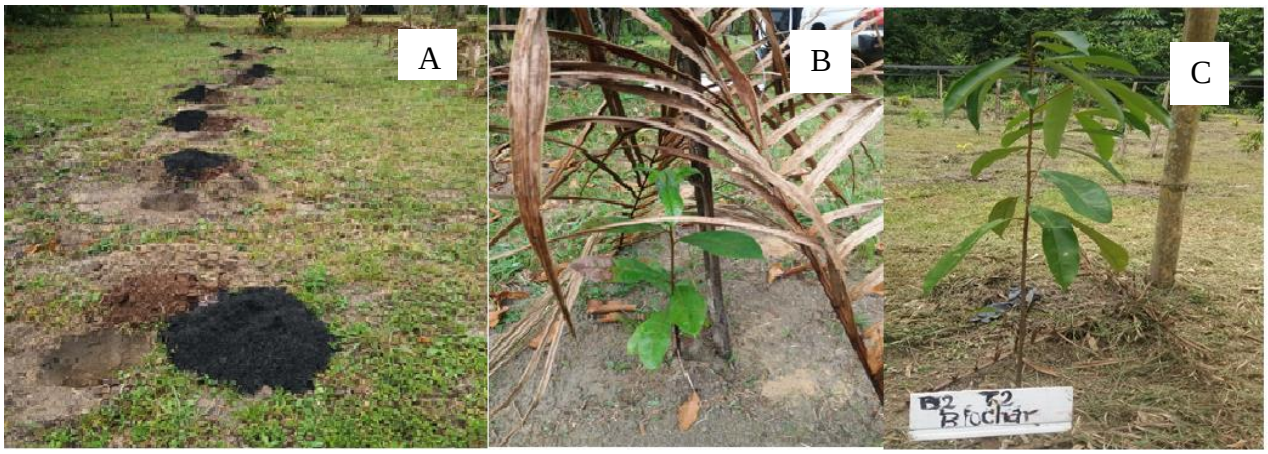

Figura 3. Abertura e preparo das covas de plantio (A); Planta de *Aniba rosaeodora* com cobertura de palha e com dois meses de plantio (B); Planta de *Aniba rosaeodora* com 8 meses em campo.

4.4 Material orgânico

O biochar foi coletado no depósito de resíduos da termoelétrica BK energia (3°3'22"S e 58°43'46"O), situada no município de Itacoatiara, Estado do Amazonas. O material é oriundo de resíduos de madeira fornecidos pela empresa Mil Madeiras Ltda. e que usa na combustão de biomassa residual de serraria como combustível na caldeira com temperatura de 900 ºC.

O esterco de galinha foi proveniente da granja de ovos São Pedro, situada no município de Manaus, Estado do Amazonas. A empresa tem como prioridade a produção de ovos, sendo o esterco subproduto da cadeia produtiva. As análises das propriedades químicas dos materiais (Tabela 2), foram realizadas com metodologia para análise de material orgânico segundo a Embrapa (1999).

Tabela 2. Propriedades químicas do biocarvão e do esterco de galinha.

Material	pH	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cinza
	H_2O	----------g kg^{-1}----------					--------mg kg^{-1}------			%
Biochar	8,80	2,41	0,83	5,08	36,90	11,30	3.698	7,6	275,1	47
Esterco	9,79	11,75	35,82	27,45	191,8	12,95	3.572	488	429,30	-

4.5 Produção, seleção e implantação das mudas

As mudas de *Aniba rosaeodora* utilizadas no experimento foram cedidas pelo grupo de pesquisa em silvicultura tropical do curso de Ciências florestais do INPA, produzidas a partir de sementes coletadas de plantios encontrados na Reserva Florestal Adolpho Ducke. As mudas possuíam idade aproximada de 13 meses, e apresentavam em média 35 cm de altura, 6,3 mm de diâmetro do coleto e 10 folhas completamente expandidas. Os critérios de seleção das mudas incluíram o estado fitossanitário, vigor e a uniformidade de tamanho (figuras 4A e 4B).

Figura 4. Mudas selecionadas para o experimento (A) e Mudas no viveiro (B).

4.6 Características avaliadas

4.6.1 Atributos químicos do solo

Para a determinação dos atributos químicos do solo foram coletadas amostras simples em cada unidade experimental no esquema de amostragem triangular e transformadas em amostra composta em função dos tratamentos. A coleta do solo foi realizada com um trado holandês ao lado da planta nas profundidades de 0-20 cm e encaminhadas para secagem e destorroamento, em seguida peneiradas (malha 2 mm), sendo transformadas em terra fina seca ao ar (TFSA).

Posteriormente as amostras foram levadas para caracterização química no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do INPA, onde determinou-se o potencial hidrogeniônico (pH), a acidez potencial (H+ Al), alumínio trocável (Al), macro (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn).

- O pH $_{H2O}$ foi determinado por meio de eletrodo imerso em suspensão da solução na relação solo: água (1: 2,5).
- A acidez potencial (H+ Al) foi extraída por acetato de cálcio Ca $(C_2H_3O_2)_2$ 0,5 mol L^{-1} e determinada por titulometria com hidróxido de sódio NaOH 0,025 mol L^{-1}
- O alumínio trocável (Al^{3+}), o cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}) foram extraídos por solução de cloreto de potássio (KCl) 1 mol L^{-1}, sendo o Al^{+3} determinado por titulometria com NaOH e o Ca e Mg determinados por espectrofotometria de absorção atômica.
- O fósforo (P), o potássio (K) e os micronutrientes Fe, Zn e Mn foram extraídos com solução Mehlich 1 (HCl 0,05 M+H_2SO_4 0,0125 M), determinando-se o P pelo método azul de molibidato e por espectrofotometria (λ=660 nm) e o K e micronutrientes (Fe, Zn e Mn) espectrofotometria de absorção atômica.
- O N total foi determinado pelo método de Kjeldahl (EMBRAPA, 1997).

De posse desses dados, calculou-se a soma de bases (SB) (equação 1), capacidade de troca de cátions efetiva (t) e potencial (T) (equação 2 e 3), saturação por bases (V%) (equação 4) e saturação por alumínio (m%) (equação 5).

Equação 1

$$\mathbf{SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+}}$$

Sendo:

SB- Soma de Bases (cmolc kg-3)

Ca^{2+} - Cálcio; Mg^{2+} - Magnésio; K^{+} - Potássio (cmolc dm^{-3})

Equação 2

$$\mathbf{t= SB + Al^{3+}}$$

Equação 3

$$\mathbf{T= SB + (H^{+}+Al^{3+})}$$

Sendo:

t- capacidade de troca de cátions efetiva (cmolc dm^{-3})

T- Capacidade de troca de cátions potencial (cmolc dm^{-3})

SB- Soma de Bases (cmolc dm^{-3})

Al^{3+} - Alumínio trocável (cmolc dm^{-3}); ($H^{+}+Al^{3+}$) -Acidez potencial (cmolc dm^{-3})

Equação 4

V% = (SB/T). 100

Sendo:

V%- Saturação por bases

SB- Soma de Bases (cmolc dm^{-3})

T- Capacidade de troca de cátions potencial (cmolc dm^{-3})

Equação 5

m% = (Al^{3+}/t). 100

Sendo:

m%- Saturação por alumínio

Al^{3+} - Alumínio trocável (cmolc dm^{-3})

t- Capacidade de troca de cátions efetiva (cmolc dm^{-3})

4.6.2 Variáveis biométricas

As variáveis biométricas foram avaliadas a partir do 3° mês após o plantio a cada 90 dias, até o final do período do período do experimento (300 dias). Neste período, realizou-se o monitoramento do número de folhas totais, a altura das plantas (superfície do solo até a gema apical) utilizando-se fita métrica e o diâmetro do coleto (a 2 cm do nível do solo) utilizando paquímetro digital da marca STARRET® (Precisão de 0,02 mm).

De posse dos resultados, calculou-se o crescimento absoluto em altura e diâmetro (CA) (equação 6), taxa de crescimento absoluto em altura e diâmetro (TCA) (equação 7), ganho foliar (GF) (equação 8), e relação altura de plantas e diâmetro do coleto (H/D), conforme metodologia de Bugbee (1996) e Davanso *et al*. (2002).

Equação 6

CA = Vf - V0

Sendo:

CA - crescimento absoluto, em altura [cm] ou em diâmetro [mm]

Vf - variável final, altura [cm] ou diâmetro [mm]

V0 - variável inicial, altura [cm] ou diâmetro [mm]

Equação 7

TCA = (Vf - V0) / (tf - t0)

Sendo:

TCA - taxa de crescimento absoluto, em altura [cm $mês^{-1}$] ou em diâmetro [mm $mês^{-1}$]

Vf - variável final, altura [cm] ou diâmetro [mm]

V0 - variável inicial, altura [cm] ou diâmetro [mm]

tf - tempo final do monitoramento

t0 - tempo inicial do monitoramento

Equação 8

GF = NFf - NF0

Sendo:

GF - Ganho foliar;

NFf - número de folhas final;

NF0 - número de folhas inicial

4.6.3 Concentração de macro e micronutrientes nas folhas

As concentrações de macro e micronutrientes nas folhas foram determinados ao final do experimento (300 dias após o plantio), por meio de coleta das folhas de forma representativa por parcela, considerando o aspecto fitossanitário das folhas medianas completamente expandidas. O material vegetal coletado foi acondicionado em sacos de papel e transportado para o laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do INPA, onde foi lavado em água destilada e seco em estufa a 65 ºC.

Posteriormente à secagem, as folhas foram moídas em moinho tipo Willey e submetidas à análise de concentração dos macros (N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Fe, Zn e Mn). As concentrações de P, K, Ca, Mg, Fe, Zn e Mn foram avaliadas com 0,5 g do material moído e submetidas à digestão nitro-perclórica em temperatura controlada de 50 em 50 ºC em intervalos de 30 minutos até atingir 210 °C. A partir do mesmo extrato, o P foi determinado por espectrofotometria a 725 nm e o K, Ca, Mg, Fe, Zn e Mn por espectrometria de absorção atômica (Malavolta et al., 1997).

As concentrações de N foram feitas com 0,1 g do material seco, submetendo-o a pré-digestão durante aproximadamente 12 horas, com posterior digestão sulfúrica (H2O2 + H2SO4) em temperatura gradativa até 350 ºC. Posteriormente, determinou-se o N foi determinado pela metodologia de Kjeldahl, a partir da alíquota de 25 mL do extrato puro (Miyzawa et al., 1999).

4.7 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos aos testes de Oneillmathews e Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) a fim de determinar a homogeneidade das variâncias e a normalidade dos conjuntos de dados, respectivamente. As variáveis que atenderam aos pressupostos anteriores foram submetidas à análise de variância pelo teste F, e quando houve diferença significativa entre as médias, foi utilizado o teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Além disso, foram feitas análises de correlação de Pearson para os atributos químicos do solo e concentração de nutrientes nas folhas, utilizando em todas as análises o software estatístico Rbio® (Bhering, 2017).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Variáveis de crescimento

Não foi observado diferença estatística significativa ($p<0,05$) para as variáveis crescimento absoluto em altura (CA-alt), crescimento absoluto em diâmetro (CA-diam), Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA-alt), Taxa de crescimento absoluto em diâmetro (TCA-diam), ganho foliar (gf) e a relação entre a altura e diâmetro (H/D) de *Aniba rosaedora* até 10 meses após o plantio em campo em nenhum dos tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância das variáveis de crescimento após cultivo em Latossolo Amarelo distrófico típico e com diferentes tratamentos de adubação, Manaus, AM, 2021.

F.V	GL	Valores do teste F					
		Ca.alt	Tca.alt	Ca.diam	Tca.diam	Gf	H/D
Tratamentos	4	0,91 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,42^{ns}	0,41^{ns}	1,30^{ns}	0,84 ^{ns}
Blocos	2	6,09 ^{ns}	4,70^{ns}	0,81^{ns}	0,74^{ns}	2,28^{ns}	0,23 ^{ns}
Resíduo	8	-	-	-	-	-	
CV (%)	-	21,53	21,49	25,69	29,28	31,03	10,23

^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; CV= coeficiente de variação; F.V= fonte de variação. Crescimento absoluto em altura (CA.alt), taxas de crescimento absoluto em altura (Tca-alt), crescimento absoluto em diâmetro do coleto (Ca.diam), taxas de crescimento absoluto em diâmetro do coleto (Tca-diam), ganho foliar (Gf) e relação altura e diâmetro (H/D).

5.1.1 Crescimento em altura da parte aérea

O crescimento em altura das plantas de *A. rosaeodora* ocorreu aos 300 dias, teve o incremento absoluto de 36 cm e a taxa de crescimento médio de 4,1 cm mês^{-1} (Figura 5), e sem diferença entre os tratamentos.

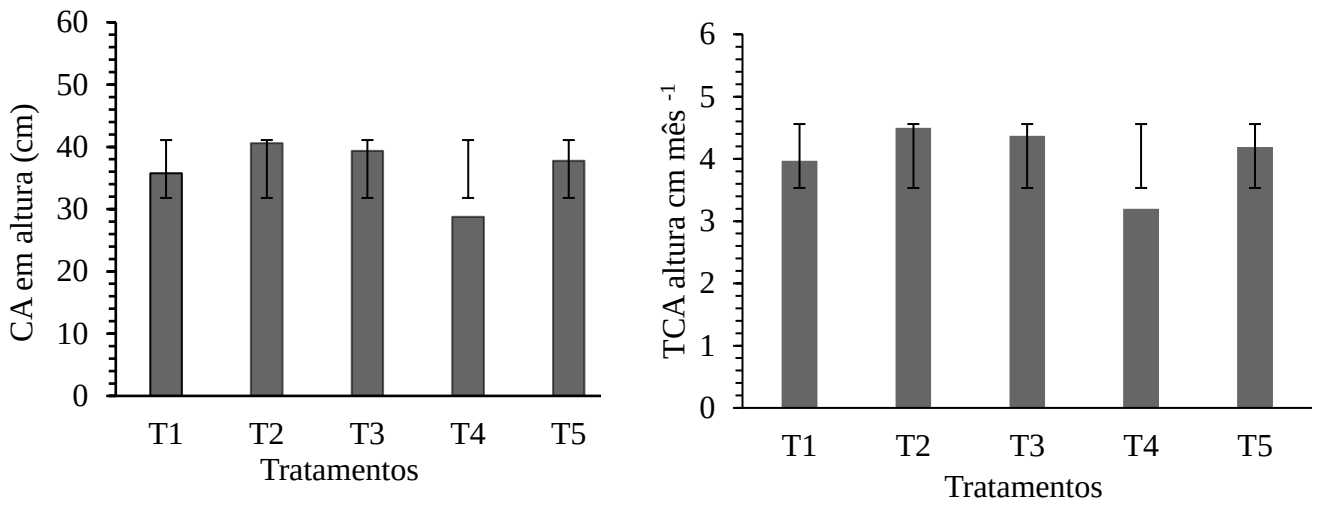

Figura 5. Valores médios e desvio-padrão do crescimento absoluto (CA) e taxa de crescimento absoluto (TCA) em altura de plantas de *Aniba rosaeodora* sob diferentes tratamentos de fertilização (T1: controle; T2: biochar; T3: biochar + esterco de galinha; T4: Biochar + NPK e T5: Biochar + NPK + esterco de galinha), Manaus, AM, 2022.

Valencia et al. (2010) ao avaliar o crescimento de *A. rosaeodora* em diferentes ambientes de fertilidade em casa de vegetação, observou que a omissão de adubação fosfatada e potássica, não foi significativa. De acordo com estes autores a fertilização P e K não se justifica porque esses elementos são pouco utilizados no crescimento inicial de *A. rosaeodora*, resultados que confirmam os dados deste trabalho.

Neves (2019) avaliando o crescimento de mudas de *A. rosaeodora* com diferentes doses de nitrogênio aos 150 dias, encontrou resposta significativa à adubação nitrogenada. Resultados que contrastam com os do presente trabalho. Entretanto de acordo com o mesmo autor os melhores resultados ocorreram em doses baixas de nitrogênio, tendo observado efeitos negativos em doses altas de adubação nitrogenada.

Ao comparar espécies com alguma similaridade de grupo sucessional, espécies de crescimento lento classificadas como clímax, como o mogno (*Swietenia macrophylla*) e submetidas à fertilização com N, P e K em doses crescentes, não houve ganho significativo em altura em nenhum dos tratamentos, quando comparados ao controle (Tucci *et al*., 2011). Estes autores discutem também a baixa responsividade de espécies florestais de crescimento lento à adubação na fase inicial, podendo esta característica está relacionada ao mecanismo de adaptação aos solos pouco férteis da região amazônica.

5.1.2 Crescimento em diâmetro

O crescimento absoluto e as taxas de crescimento absoluto em diâmetro, não tiveram diferença significativa ($p<0,05$), entre os tratamentos. Os valores variaram de 4,2 (T4) a 6 mm (T5) no crescimento absoluto e nas taxas de crescimento absoluto 0,48 (T4) a 0,62 (T5) mm mês^{-1} (Figura 6). Useche (2003) encontrou que o pau-rosa teve incremento médio anual em diâmetro de 7,9 mm, valores próximos aos do presente trabalho no período de 10 meses.

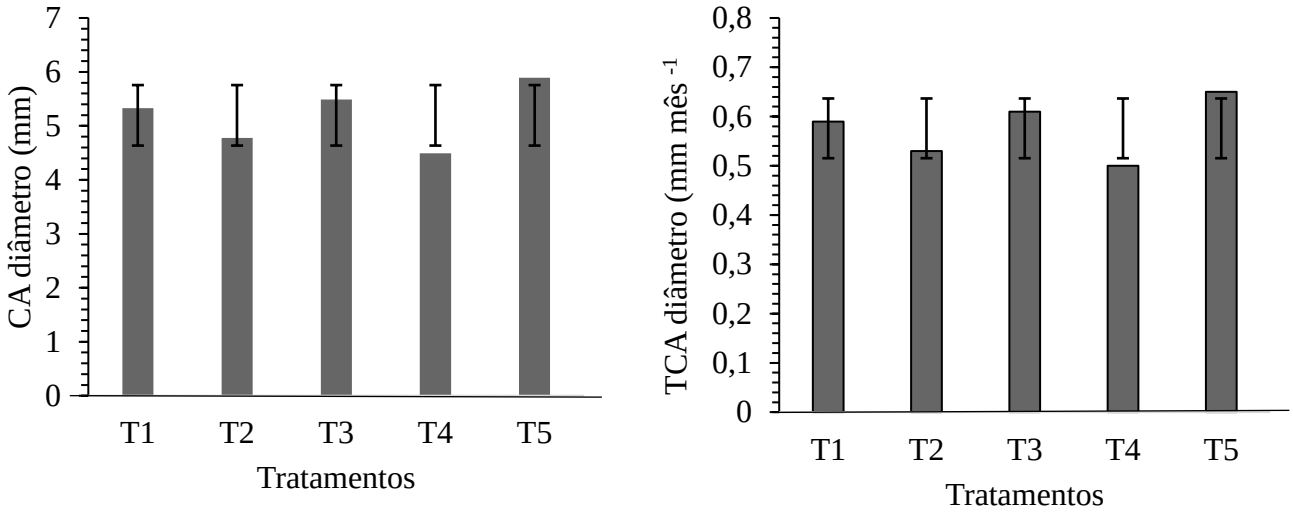

Figura 6. Valores médios e desvio-padrão do crescimento absoluto (CA-d) e taxa de crescimento absoluto (TCA-d) em diâmetro de plantas de *A. rosaeodora* sob diferentes tratamentos de fertilização (T1: controle; T2: biochar; T3: biochar + esterco de galinha poedeira; T4: Biochar + NPK e T5: Biochar + NPK + esterco de galinha poedeira), Manaus, AM, 2022.

Resultados semelhantes com espécies nativas da região amazônica foram encontrados por Ferreira et al. (2012) com *Bertholletia excelsa* em campo, em que o tratamento com adubação química não diferiu do tratamento controle aos oito meses de experimento. Segundo os autores, os valores médios de TCA em diâmetro variaram de 0,2 a 2,4 mm mês^{-1}. Silva et al. (2011) trabalhando com mudas de mogno (*S. macrophylla*), cultivadas em Latossolo Amarelo distrófico, verificaram que o crescimento em diâmetro foi pouco afetado, tanto pela correção do solo quanto pela adubação fosfatada. Resultados semelhantes foram encontrados por Gomes (2012) em estudo com mudas de *B. excelsa* submetidas à fertilização com diferentes combinações e dosagens de adubação mineral em campo, destacando que o diâmetro não teve diferenças entre os tratamentos.

Esses resultados evidenciam que espécies florestais nativas de crescimento lento, apresentam baixa eficiência de utilização e sendo também menos responsivas ao fornecimento de nutrientes no estabelecimento inicial.

5.1.3 Ganho foliar

O ganho foliar no período avaliado não diferiu estatisticamente entre os tratamentos (p<0,05) e as plantas tiveram ganho foliar médio de 20 folhas (Figura 7).

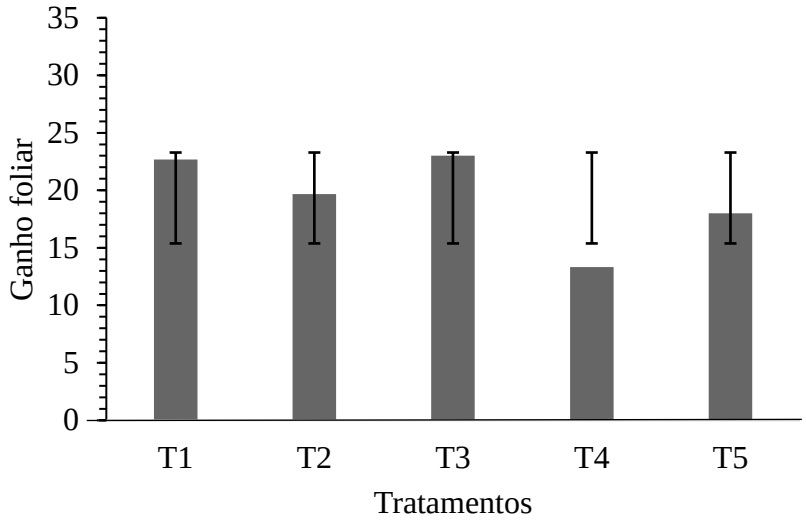

Figura 7. Valores médios e desvio-padrão do ganho foliar de plantas de *A. rosaeodora* sob diferentes tratamentos de fertilização (T1: controle; T2: biochar; T3: biochar + esterco de galinha poedeira; T4: Biochar + NPK e T5: Biochar + NPK + esterco de galinha poedeira) Manaus, AM, 2022.

Valencia et al. (2010) ao avaliar o crescimento de *A. rosaeodora*, cita que o número de folhas das plantas de pau-rosa pode ser afetado em solos com baixa disponibilidade de macronutrientes, entre eles o N. Resultado semelhante foi encontrado por Neves, (2019) com uso de 20 t ha^{-1} de biocarvão e doses de nitrogênio, quando obteve ganhos de aproximadamente 23% no número de folhas na dose de 200 kg ha^{-1} de N. Vale destacar que esses trabalhos citados foram realizados em casa de vegetação, com condições ambientais mais controladas.

5.1.4 Relação altura/diâmetro

Não foi observada diferença significativa (p<0,05) entre os valores da relação altura e diâmetro (H/D) entre os tratamentos (Figura 8). O valor resultante da divisão entre a altura da parte aérea de uma planta pelo respectivo diâmetro do coleto, exprime

equilíbrio de crescimento, num só índice. Quanto menor este índice, maior será a capacidade de as plantas sobreviverem e se estabelecerem na área de plantio (Carneiro, 1995).

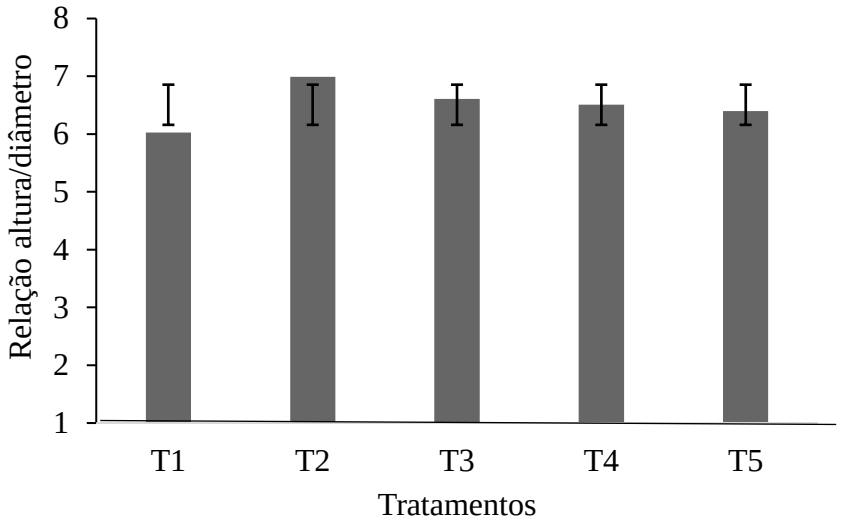

Figura 8. Valores médios e desvio-padrão da relação atura e diâmetro (H/D) de plantas de *A. rosaeodora* sob diferentes tratamentos de fertilização (T1: controle; T2: biochar; T3: biochar + esterco de galinha poedeira; T4: Biochar + NPK e T5: Biochar + NPK + esterco de galinha poedeira) Manaus, AM, 2022.

Valores para a relação altura/diâmetro menores que 10 são considerados como referência para a classificação de qualidade das mudas (Carneiro, 1995; José *et al*., 2009). Os valores de H/D menores que 10 independentemente dos tratamentos, com média de 6,9, neste trabalho atestam para um bom equilíbrio das plantas. A relação altura/diâmetro média observado por Simões *et al.* (2015) para mudas de castanheira foi de 7,66.

5.2 Atributos químicos do solo

Com exceção do potássio (K^+) e Ferro (Fe) todas as variáveis foram significativamente influenciadas (p<0,05) pelos tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância dos parâmetros e atributos químicos do solo para o efeito das adubações após cultivo em Latossolo Amarelo Distrófico típico, Manaus, AM.

F.V	G.L	Valores do teste F							
		N total	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn
Tratamentos	4	$5,60^{*}$	$18,22^{*}$	$3,33^{ns}$	$19,90^{*}$	$4,85^{*}$	$1,04^{ns}$	5,21*	$8,90^{*}$
Blocos	2	$0,74^{ns}$	$2,77^{ns}$	$4,24^{ns}$	$0,91^{ns}$	$2,03^{ns}$	$1,19^{ns}$	$1,04^{ns}$	$1,48^{ns}$
Resíduo	8	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	6,65	42,99	3,25	35,05	8,63	23,07	34,85	16,91

F.V	G.L	Valores do teste F							
		pH	Al^{3+}	$H+Al^{3}$	SB	T	T	V%	m %
Tratamentos	4	22,67*	26,01*	5,56*	12,20*	8,08*	14,90*	27,53*	17,24*
Blocos	2	1,20 ns	0,97ns	0,11ns	2,06ns	2,09ns	2,03 ns	1,75 ns	0,74 ns
Resíduo	8	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	3,95	32,17	17,18	35,69	27,34	10,14	28,35	46,6

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns não significativo; CV= coeficiente de variação; F.V= fonte de variação. H+Al - acidez potencial; t - CTC efetiva; SB – soma de bases; V - porcentagem de saturação por bases da CTC a pH 7,0 e m - porcentagem de saturação por Al da CTC efetiva. Obs: O N total, Mg, Zn e Mn foram transformados em raiz de x +0,5 para efeito de análise variância.

5.2.1 Efeito dos tratamentos no pH (H_2O), na acidez trocável (Al^{3+}) e acidez potencial ($H+Al^{3+}$).

A aplicação de biochar isolado ou em combinação com a adubação orgânica e mineral, influenciou os índices de acidez do solo (p<0,05) após 365 dias da aplicação dos tratamentos em Latossolo Amarelo distrófico (Tabela 5). Os resultados indicam que houve aumento no pH do solo em relação à testemunha T1 (pH=4,38) nos tratamentos que receberam somente biocarvão T2 (pH=5,14), biocarvão combinado com esterco T3 (pH=5,67) e com esterco e nutrientes T5 (pH=5,49). Os incrementos no pH nestes tratamentos estão diretamente relacionados com as maiores concentrações de nutrientes presentes no esterco e nas cinzas presentes no biochar.

Por outro lado, a combinação biocarvão com fertilizante mineral T4 (pH=4,63) induziu a apenas um leve incremento nos valores de pH, sem diferir estatisticamente da testemunha. Segundo Pavan e Oliveira (1997), a aplicação de ureia e fertilizantes amoniacais causa acidificação do solo e faz com que parte das cargas do solo sejam ocupadas pelo Al, impedindo a adsorção de cátions básicos. Van Zwiten *et al*. (2010) avaliando o efeito de biocarvão em solos ácidos da Austrália observaram que a aplicação somente com biochar aumentou o pH do solo consideravelmente, enquanto que o tratamento que recebeu biochar com fertilizante mineral diminuiu ainda mais o pH do solo.

Aumentos no pH em decorrência da aplicação de biocarvão ao solo, isolado ou em combinados com outras fontes foram observados por Oliveira (2017) e Sprey (2020). Esses resultados ratificam o potencial das cinzas contidas no biocarvão, como corretivo da acidez do solo, através das substâncias carbonatadas, diminuindo a concentração de hidrogênio e alumínio, servindo como alternativa aos solos ácidos amazônicos (Zwieten *et al.*, 2010; Yuan *et al.*, 2011).

Também foi observado redução expressiva nos teores de alumínio no solo (p<0,05) nos tratamentos onde o biocarvão foi aplicado individualmente, combinado ou

em associação com outros tratamentos. Os valores mais elevados de alumínio ocorreram nos tratamentos T1 (1,03 $cmol_c\ kg^{-1}$) e T4 (0,75 $cmol_c\ kg^{-1}$) enquanto que os tratamentos biocarvão T2 (0,45 $cmol_c\ kg^{-1}$), biocarvão combinado com esterco T3 (0,04 $cmol_c\ kg^{-1}$) e biocarvão com esterco e adição de nutrientes via NPK T5 (0,03 $cmol_c\ kg^{-1}$) tabela 5.

A redução dos teores de alumínio possivelmente estar relacionado diretamente ao aumento do pH e aos altos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} presentes nestes tratamentos. Os elementos Ca^{2+} e Mg^{2+} atuam como agentes de troca com o Al^{3+} presente no solo e contribuem para a formação de precipitados. O alumínio tóxico é provavelmente o fator mais limitante do crescimento das plantas em muitos solos ácidos, particularmente na faixa de pH < 5,0 a 5,5. O efeito tóxico do excesso de Al no crescimento das raízes pode influenciar severamente o crescimento e a produção das plantas (Havlin *et al*. 2005).

Após um ano de experimentação, Peter (2010) verificou que a respectiva adição de 2, 4, 8 e 16 t ha^{-1} de biochar reduziram a acidez e a atividade do Al de um Latossolo Vermelho a níveis baixos. Da mesma forma, Van Zwieten *et al.* (2010) aplicando 10 t ha^{-1} em experimento com vasos, onde verificaram redução do Al trocável de 2,0 $cmol_c\ dm^{-3}$ a níveis não detectáveis após dois meses, atribuindo-se esse efeito ao aumento do pH.

Comportamento semelhante foi observado com relação à acidez potencial. Os valores deste parâmetro diminuíram significativamente (p<0,05) na presença do biocarvão ou combinado com esterco de galinha (Figura 5). Valores de acidez potencial (> 5,00 $cmol_c\ kg^{-1}$) como encontrado nos tratamentos T1 (5,03 $cmol_c\ kg^{-1}$) e T4 (5,51 $cmol_c\ kg^{-1}$) não são considerados valores desejáveis para a fertilidade do solo, uma vez que esse parâmetro expressa o teor de H^+ em ligação covalente mais o H + Al trocáveis na solução do solo. De acordo com Oliveira (2017) e Fidel *et al*. (2017) os baixos valores da acidez potencial estão relacionados negativamente com o pH do solo e alcalinidade do biocarvão.

5.2.2 Efeito dos tratamentos na soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions efetiva (t).

A aplicação somente de biocarvão (T2) a soma de bases (SB) não diferiu estatisticamente da testemunha (T1) e biocarvão com NPK (T4) (p<0,05), sendo significativo apenas nos tratamentos que teve combinação biocarvão e esterco (T3) e nutrientes (T5) (tabela 5). O aumento na SB pode estar relacionado à somatória do cálcio contido nas cinzas do biocarvão com os contidos no esterco de galinha (Tabela 2), sendo o esterco de galinha rico em minerais como o cálcio e magnésio presentes na ração dos

animais, entretanto o esterco apresentou menor concentração de Mg quando comparado ao Ca.

Os valores da CTC efetiva (t) para T1 (1,38 $cmol_c\ kg^{-1}$), T2 (2,05 $cmol_c\ kg^{-1}$) e T4 (2,30 $cmol_c\ kg^{-1}$) não diferiram entre si (p<0,05) e ainda refletiram baixa capacidade dos solos em reter cátions (Tabela 5). Mesmo estes tratamentos tendo a presença de biocarvão na dosagem de 10 t ha^{-1} com exceção do (T1), não foi suficiente para causar mudança significativa na CTC efetiva, ao passo que nos tratamentos com biocarvão, esterco de galinha e nutrientes T3 (3,09 $cmol_c\ kg^{-1}$) e T5 (4,50 $cmol_c\ kg^{-1}$) esta capacidade foi melhorada.

O aumento nos tratamentos T3 e T4 se deram provavelmente devido a alcalinidade do biocarvão e do esterco (Tabela 2). Considerando os baixos valores de CTC encontradas em solos Amazônicos (< 2,0 cmolc dm^{-3}), a aplicação do biocarvão combinado com esterco pode ser alternativa de manejo ao longo do tempo.

De acordo com Lopes e Guilherme (2004), admite-se que índices (≤ 1,60 $cmol_c$ dm^{-3}) classificam-se como muito baixos. Por outro lado, valores entre (4,31-8,60 $cmol_c$ dm^{-3}) são classificados como bom e valores superiores (> 8,60 $cmol_c$ dm^{-3}) considerados muito bom. Quanto maior a CTC efetiva do solo, maior a quantidade de cátions que este solo pode reter. Estes cátions retidos podem ser trocados por outros cátions equivalentes, a depender do número de cargas negativas existentes no solo.

Tabela 5. Análise de fertilidade do solo após 12 meses da aplicação dos tratamentos (profundidade 0-20 cm). Tratamentos: T1: controle; T2: biochar; T3: biochar + esterco de galinha poedeira T4: biochar + NPK e T5: biochar+ NPK+ esterco de galinha poedeira. Letras diferentes indicam valores significativos entre tratamentos de fertilização (Teste de Scott-Knott P<0,05).

	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
pH [H_2O]	4,38c	5,14b	5,67a	4,63c	5,49a
N [g kg^{-1}]	0,94a	0,53b	1,07a	1,04a	1,18a
P [mg kg^{-1}]	5,17b	9,76b	134,38a	26,59b	99,41a
K [$cmol_c\ kg^{-1}$]	0,03a	0,04a	0,04a	0,12a	0,10a
Ca [$cmol_c\ kg^{-1}$]	0,23c	1,21c	2,65b	0,47c	3,77a
Mg [$cmol_c\ kg^{-1}$]	0,09b	0,45a	0,36a	0,43a	0,59a
Al [$cmol_c\ kg^{-1}$]	1,03a	0,45c	0,04d	0,75b	0,03d
Fe [mg kg^{-1}]	193a	160a	192a	221a	161a
Zn [mg kg^{-1}]	1,17b	1,39b	2,36a	1,07b	2,93a
Mn [mg kg^{-1}]	0,81b	3,28a	3,97a	2,13b	6,56a
H+Al [$cmol_c\ kg^{-1}$]	5,03ª	3,98b	3,15b	5,51a	3,57b
t [$cmol_c\ kg^{-1}$]	1,38c	2,05c	3,09b	2,30c	4,50a
M.O [g kg^{-1}]	22,57a	26,03a	22,14a	26,11a	29,16a
SB [$cmol_c\ kg^{-1}$]	0,35b	1,59b	3,05a	1,55b	4,47a
V [%]	7,03b	35,30b	97,23a	26,89b	124a

m [%]	75a	22c	1,38c	38b	0,77c

H+Al - acidez potencial; M.O: matéria orgânica; t - CTC efetiva; SB- soma de bases; V - porcentagem de saturação por bases da CTC a pH 7,0 e m - porcentagem de saturação por Al da CTC efetiva. O N total, Mg, Zn e Mn foram transformados em raiz de x +0,5 para efeito de análise variância, porém nas tabelas permanece os valores absolutos.

5.2.3 Efeito dos tratamentos na percentagem de saturação por bases (V%) e na percentagem de saturação por alumínio (%m)

Os valores de saturação de bases da CTC a pH 7,0 (V) foram elevados com a aplicação de biocarvão isolado ou em combinação com outras fontes (tabela 5), quando comparados ao solo em condições normais T1 (V% = 7,03). Os tratamentos T2 (V%= 35,30) e T4 (V%= 26,89) apesar de terem seus valores aumentados, não diferiram estatisticamente $p<0,05$ da testemunha T1. Todavia, esses valores ainda são considerados baixos, considerando que solos com V% <50 são considerados como distróficos. A combinação biocarvão com tratamentos envolvendo esterco de galinha T3 (V%= 97,23) e T5 (V%= 124) tiveram seus valores com aumentos significantes diferindo estaticamente dos outros tratamentos. Os aumentos na saturação por bases nos tratamentos com a presença de biocarvão são resultados do aumento de bases (Ca, Mg, K) no solo contido nas cinzas do biocarvão e no esterco.

Conhecer a percentagem saturação por bases é importante para conhecer o nível de fertilidade do solo. Solos com baixo V% indicam que existe maior adsorção de Al^{3+} e H^{+} e quantidades menores dos cátions básicos Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+}, adsorvidos nos coloides do solo. De acordo com Alvarez *et al*. (1999) o V% indica quanto por cento dos pontos de troca de cátions, nos coloides, estão ocupados por bases, ou, em outras palavras, quanto por cento das cargas negativas estão ocupadas por Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+}, em relação aos pontos de troca dos cátions ácidos H+ e Al^{3}+. Os solos que apresentam (V%≥50) são considerados como férteis (eutróficos), entretanto solos com (V%≤50) são conhecidos como solos de baixa fertilidade (distróficos) (Lopes, 2004).

A porcentagem de saturação por Al da CTC efetiva (m) foi considerada alta para o tratamento controle T0 (75%), como reflexo das condições naturais dos Latossolos, como o solo da área do experimento. O percentual de saturação por alumínio sofreu redução significativa na presença de biocarvão (Tabela 5), fato que é favorável para as plantas, pois o Al é limitante para o crescimento vegetal. Acredita-se que os menores teores de Al obtidos, tenha sido devido a capacidade do biochar em aumentar o pH do solo e assim reduzir a acidez trocável (Havlin *et al.*, 2005).

Em geral, quanto mais ácido é um solo, maior o teor de Al trocável em valor absoluto, menores são os teores de Ca, Mg e K, consequentemente menor é a soma de bases e maior é o valor de m%. Esta variável reflete o grau de toxicidade do solo e é recomendável que esteja abaixo de 20% (Lopes *et al*., 1991). A descrição que caracteriza o solo onde foi realizado o experimento, sugere, juntamente com as demais variáveis discutidas ao longo do trabalho, que *A. rosaeodora* apresenta características de espécies adaptadas a solos ácidos e parece não ser sensível a altos teores de Al.

5.2.4 Efeito dos tratamentos nos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Fe, Zn e Mn) no solo.

Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg)

Foi observado diferença estatística para o nitrogênio total $p<0,05$ entre os tratamentos, com teores de N variando entre 0,53 (T2) a 1,18 g kg^{-1} (T5). Os tratamentos T1 0,94, T3 1,07, T4 1,04 e T5 1,18 g kg^{-1} não diferiram entre si e apresentaram melhores resultados, tendo seus teores classificados por Cochrane *et al*. (1985) como "médio" no solo (Tabela 5). Por outro lado, o tratamento com a presença somente de biocarvão (T2) reduziu os teores de N no solo sendo classificado como "baixo". Sprey (2020) trabalhando com diferentes tipos de adubação associada ao biocarvão, observou que o tratamento que continha apenas biocarvão foi semelhante com a testemunha e inferior aos tratamentos que continham combinação com outras fontes de nutrientes. Alburquerque *et al*. (2013) trabalhando com biocarvões de palha de trigo e dos resíduos da poda de oliveiras, afirmaram que após dois meses de incubação em casa de vegetação a adição de qualquer um dos dois tipos de biocarvão resultou em perdas na disponibilidade de N e Mn. Segundo esses mesmos autores este fato pode estar relacionado com a própria natureza do biocarvão que possui baixos teores de nitrogênio, alta capacidade de adsorção e baixa taxa de mineralização. Zhang *et al*. (2017) e Guimarães *et al*. (2017) observaram aumentos dos teores de Ntotal em tratamentos com biocarvão, resultados que contrastam com este trabalho.

A respeito dos níveis de P disponível no solo, os tratamentos T3 (134,38 mg kg^{-1}) e T5 (99,41 mg kg^{-1}) foram superiores aos tratamentos T1 (5,17 mg kg^{-1}), T2 (9,76 mg kg^{-1}) e T4 (26,59 mg kg^{-1}), sendo que estes últimos não apresentaram diferença estatística entre si, entretanto, nota-se que houve incremento nos teores de fósforo nos tratamentos somente com biocarvão (T2) e biocarvão combinado com fertilizante NPK quando comparado ao solo natural (T1) (Tabela 5).

Rajapaksha *et al*. (2015), relataram que a presença de biocarvão no solo resultou em aumento de pH, CTC e no teor de P. Petter *et al*. (2012) afirmaram que a aplicação de biocarvão de eucalipto em aplicações de 8, 16 e 32 t ha^{-1} em campo, afetou positivamente a fertilidade do solo, aumentando principalmente a disponibilidade de Ca e P, bem como aumentando o pH e o carbono orgânico total dos solos.

O alto incremento de P nos tratamentos T3 e T5 pode ser atribuído pelas altas concentrações encontradas no esterco (Tabela 5) pois, grande parte do fósforo adicionado na ração animal não é hidrolisada pelo sistema digestivo das aves, sendo então liberado nas fezes, podendo contribuir para o aumento do teor de fósforo do solo. Comprovado por Ribeiro *et al*. (2019) e Sprey (2020), que com a utilização de cama de peru e frango, respectivamente foi possível elevar os teores de fósforo em Latossolos.

Não foi observado diferença estatística $p<0,05$ entre os tratamentos nos teores de potássio (K) no solo (Tabela 5). Houve um incremento de K nos tratamentos T4 e T5 os quais receberam adição de cloreto de potássio via NPK sem, contudo, apresentar diferença estatística para os demais. No geral os teores foram considerados baixos segundo a classificação de (Moreira *et al*., 2002). Observa-se que no geral, tanto aplicação do biochar quanto de esterco de galinha não foram suficientes para elevar os teores deste macronutriente. Um dos fatores que podem explicar esse comportamento pode ser a baixa concentração deste nutriente, principalmente, no biochar que devido ser submetido a altas temperaturas ocasionou perdas. Keiluweit *et al*. (2010) descreve que a pirólise de baixa temperatura (<550°C), favorece a maior recuperação de C, bem como de diversos nutrientes, que são cada vez mais perdidos conforme a aumento da temperatura. Uma segunda explicação para a baixa disponibilidade de potássio no solo naqueles tratamentos que continham fontes deste nutriente, pode estar relacionado com perdas por lixiviação, considerando que o K é bastante móvel no solo, principalmente em solos com texturas de natureza mais arenosa. Steiner *et al*. (2007) não observaram maior disponibilidade K após o primeiro cultivo de arroz quando o biocarvão com formulado NPK foram adicionados em Latossolo Vermelho da Amazônia brasileira.

Os teores de cálcio (Ca) foram significativamente influenciados pelos tratamentos, com destaque para os tratamentos que continham biochar associado ao esterco de galinha T3 e T5 com valores de 2,65 e 3,67 cmolc kg^{-1}, respectivamente. Entretanto, nota-se também aumento nos teores de Ca no solo nos tratamentos com a combinação biochar e NPK (0,47 cmolc kg^{-1}) T4 e no tratamento com presença apenas de biocarvão (1,21 cmolc kg^{-1}) T2 quando comparado à testemunha T1(0,23 cmolc kg^{-1})

mesmo não apresentando diferença estatística. Isso evidencia que o biochar pode contribuir com a melhoria da fertilidade de solos como os da Amazônia que são deficientes em bases como Ca e Mg. Os altos teores de Ca encontrado nos tratamentos T3 e T5 podem ser resultados da somatória do Ca presente no biocarvão com o presente no esterco de ave que é rico em minerais como o cálcio presentes na ração dos animais (Tabela 5).

O Mg, por sua vez, teve os valores elevados em todos os tratamentos em relação à testemunha (T1), tendo os valores classificados como baixo a médio de acordo com a classificação de Moreira *et al*. (2002). O fato dos teores destes nutrientes terem ficados baixos deve-se provavelmente às baixas concentrações encontradas tanto no esterco quanto no biocarvão (Tabela 2). A qualidade do biocarvão depende do tipo e fonte da matéria-prima utilizada para a produção e também das condições utilizadas no tratamento térmico (Mendez *et al*., 2013).

Micronutrientes (Fe, Zn e Mn)

Em relação aos teores de micronutrientes no solo, zinco e manganês apresentaram diferenças estatísticas $p<0,05$ entre as fontes de adubação, enquanto que para o ferro não foi observado diferença (Tabela 5). De uma forma geral, os teores de Zn foram considerados de acordo com a classificação de ribeiro *et al*. (1999) como "médio a alto", com destaque para os tratamentos T3 e T5 que diferiram dos demais com altos valores no solo, esse maior incremento nestes tratamentos se deve ao Zn apresentar afinidade por grupos funcionais da matéria orgânica e a maior quantidade de Zn aplicado com o esterco de galinha (488 mg kg^{-1}) (Tabela 2). Resultado semelhante ao encontrado por Sprey (2020), após observar o teor de Zn no solo em trabalho com diferentes adubações envolvendo biocarvão e esterco de galinha em um Latossolo amarelo.

Em todos os tratamentos o ferro (Fe) apresentou teores acima dos valores adequados. De acordo com Cochrane *et al*. (1985) teores acima de 45, são considerados "altos". Nos tratamentos (T2) e (T5) com presença de biocarvão os teores de Fe foram reduzidos, quando comparado ao tratamento sem biocarvão (T1), porém sem diferir estatisticamente.

Demattê *et al*. (2003) consideram que a dinâmica do Fe no solo, entre a matéria orgânica e a presença do Fe nos solos tropicais, ainda não está totalmente compreendida, o que dificulta a prática deste elemento em estudos. Entretanto, o alto teor de Fe presente no solo natural, testemunha (T1), está relacionado ao tipo de material de origem do solo,

o que é esperado considerando que os Latossolos são rico em minerais como a hematita (Fe_2O_3), olivina ($(MgFe)_2SiO_4$,) e goethita (FeO(OH)) (Wastowski *et al*., 2010). Altos teores de óxidos de ferro não são bem vistos, pois de acordo Fink *et al*. (2016) estes conferem aos solos tropicais uma alta capacidade de adsorção de fósforo.

Considerando que os Latossolos possuem baixos teores de manganês (Mn), podemos observar que de maneira geral, todos os tratamentos que continham biochar, os teores foram elevados. Embora haja aumento, ainda assim são classificados como "baixos teores". O biocarvão isolado (T2) foi 4 vezes maior que no solo em condições normais (T1), o tratamento completo (T5) foi o único com nível satisfatório devido a concentração de Mn presente nas fontes de biocarvão (275mg kg^{-1}) e esterco (429 mg kg^{-1}), além de conter traços de micronutrientes nos fertilizantes NPK aplicado no solo. Novak *et al*. (2009) avaliando a influência da adição de biocarvão de casca do fruto de nogueira-pecã no solo, após 67 dias em casa de vegetação, concluiu que o biocarvão apresentou alta capacidade de sorção de nutrientes, principalmente Ca, P, Zn e Mn.

5.3 Correlação entre atributos e nutrientes do solo

Na (Tabela 6) são apresentadas as correlações entre os atributos químicos do solo com 1 ano após a aplicação dos tratamentos em campo. A excelente correlação linear entre duas variáveis, deve possuir coeficiente de correlação com valores, no mínimo, superior a +0,60 (correlação positiva) e -0,60 (correlação negativa).

Assim, os valores desse coeficiente foram classificados de acordo com o proposto por Kitamura (2004) como: a) extra-alto: se $0,80 \leq r \leq 1,00$ ou $-0,80 \geq r \leq -1,0$; b) alto: se $0,60 \leq r < 0,80$ ou $-0,60 \geq r < -0,80$; c) moderado: se $0,40 \leq r < 0,60$ ou $-0,40 \geq r < -0,60$; d) baixo: se $0,20 \leq r < 0,40$ ou $-0,20 \geq r < -0,40$; e nulo: se $0,0 \leq r < 0,20$ ou $-0,0 \geq r < 0,20$.

Com exceção do nitrogênio total (N), potássio (K), Ferro (Fe) e a matéria orgânica do solo (M.O) foi observado correlação significativa ($p<0,05$) entre o pH e todos os atributos químicos do solo. O pH apresentou alta correlação positiva com os macronutrientes (P, Ca, Mg), micronutrientes (Zn, Mn) e com os atributos do solo (SB, t, V%). Gama (2019) estudando a correlação linear entre os atributos químicos do solo verificou correlação positiva entre o pH e (K, P, t e V%).

Por outro lado, houve correlação negativa extra-alto com (Al, H+Al, T e m%). A correlação negativa entre pH e Al no solo já é bem conhecida, pois com a redução do pH a valores inferiores a 5, o alumínio é solubilizado na solução do solo (Kochian *et al*., 2005). Além disso, convém mencionar que a acidificação está associada com as perdas

de bases trocáveis, formação de matéria orgânica de baixa qualidade e em mobilização do Al potencialmente tóxico às plantas (Boruvka *et al*., 2005).

O nitrogênio teve correlação positiva $p<0,05$ apenas com a CTC efetiva (t). Já o Fósforo (P) teve alta correlação positiva com Ca, Zn, Mn, t, SB, V% e pH. Em contrapartida, houve alta correlação negativa entre o P e os índices de acidez Al e m%. Indicando que, quando aumenta a acidez do solo, os teores de fosforo diminuem. Foi verificado correlação moderada positiva entre potássio e Mg, MO, SB e t. Não foi observado correlação negativa significativa deste elemento com nem um atributo químico do solo.

O cálcio (Ca) apresentou correlação positiva extra-alta $p<0,05$ com P, Mn, Zn, SB, t, V% e pH, enquanto que com o Mg a correlação foi considerada alta. Fica nítido uma forte correlação negativa entre Ca e os índices de acidez, evidenciando que quando se aumenta os teores deste nutriente no solo, consequentemente diminuem os de elementos tóxicos. Para o magnésio (Mg) foi verificado correlação negativa com o Fe, Al e m%. Por outro lado, teve correlação significativa positiva com Mn, pH, MO, SB, t e V%.

Quanto aos micronutrientes, o ferro (Fe) teve correlação significativa negativa com Mg, Mn, MO e t. O zinco (Zn) foi altamente correlacionado positivamente com pH, P, Ca, Mn, SB, t e V%. Em contrapartida, teve alta correlação negativa com o Al, T e m%. Houve alta correlação positiva entre o manganês (Mn) e (pH, P, Mg) e extra-alto com Ca, Zn, SB, t e V%).

O alumínio teve alta correlação negativa com P, Ca, Mg, Zn e Mn, ou seja, à medida que se aumenta os teores de Al no solo há decréscimo da disponibilidade de destes nutrientes. A matéria orgânica (MO) do solo teve correlação positiva com K, Mg, Mn, SB, t e correlação negativa com os teores de Fe no solo.

Tabela 6. Correlação de Pearson entre os atributos químicos e nutrientes do solo após experimento.

	pH	N	P	K	Ca	Mg	Al	Fe	Zn	Mn	MO	H+Al	SB	t	T	V%	m%
pH	-																
N	-0,06^{ns}	-															
P	0,69*	0,36^{ns}	-														
K	0,02^{ns}	0,29^{ns}	0,24^{ns}	-													
Ca	0,79*	0,37^{ns}	0,79*	0,27^{ns}	-												
Mg	0,59*	0,24^{ns}	0,28^{ns}	0,57*	0,57*	-											
Al	-0,96*	-0,04^{ns}	-0,78*	-0,16^{ns}	-0,86*	-0,61*	-										
Fe	-0,29^{ns}	-0,17^{ns}	-0,15^{ns}	-0,22^{ns}	-0,50^{ns}	-0,58*	0,28^{ns}	-									
Zn	0,62*	0,44^{ns}	0,82*	0,42^{ns}	0,92*	0,44^{ns}	-0,74*	-0,50^{ns}	-								
Mn	0,76*	0,34^{ns}	0,61*	0,48^{ns}	0,89*	0,76*	-0,80*	-0,55*	0,82*	-							
MO	0,09^{ns}	0,40^{ns}	0,13^{ns}	0,63*	0,43^{ns}	0,57*	-0,21^{ns}	-0,62*	0,49^{ns}	0,54*	-						
H+Al	-0,74*	0,03^{ns}	-0,53*	0,28^{ns}	-0,62*	-0,17^{ns}	0,65*	0,16^{ns}	-0,42^{ns}	-0,57*	0,18^{ns}	-					
SB	0,77*	0,45^{ns}	0,76*	0,54*	0,94*	0,75*	-0,85*	-0,49^{ns}	0,89*	0,93*	0,52*	-0,46^{ns}	-				
t	0,66*	0,56*	0,70*	0,63*	0,90*	0,74*	-0,75*	-0,53*	0,88*	0,92*	0,59*	0,37^{ns}	0,99*	-			
T	-0,80*	0,10^{ns}	-0,70*	0,35^{ns}	-0,74*	-0,18^{ns}	0,79*	0,16^{ns}	-0,59*	-0,50^{ns}	0,09^{ns}	0,73*	-0,55*	0,43^{ns}	-		
V	0,85*	0,37^{ns}	0,82*	0,31^{ns}	0,97*	0,64*	-0,90*	-0,44^{ns}	0,88*	0,89*	0,38^{ns}	0,60*	0,96*	0,92*	-0,73*	-	
m	-0,93*	-0,03^{ns}	-0,72*	-0,29^{ns}	-0,79*	-0,70*	0,97*	0,26^{ns}	-0,66*	-0,81*	-0,26^{ns}	0,57*	-0,84*	-0,74*	0,64*	-0,84*	-

*Significativo a 5% e ^{ns} Não Significativo. Informa-se que as correlações são lineares. H+Al - acidez potencial; t - CTC efetiva; T - CTC a pH 7,0; SB – soma de bases; MO- matéria orgânica; V - porcentagem de saturação por bases da CTC a pH 7,0 e m - porcentagem de saturação por Al da CTC efetiva.

5.4 Efeito dos tratamentos sobre o Estado Nutricional das plantas

No estado nutricional das plantas, ocorreu diferença estatística (p<0,05) apenas nas concentrações de potássio (K), cálcio (Ca) e manganês (Mn) (Tabela 7). As concentrações dos demais nutrientes não foram afetadas pela adubação. As concentrações dos nutrientes na planta, refletem o estado nutricional, bem como, a fertilidade do solo. Por isso, é importante conhecer os intervalos dos teores de cada nutriente no tecido que indicam deficiência, suficiência ou toxicidade (Gonçalves, 1995).

Tabela 7. Resumo da análise de variância para as concentrações foliares em plantas de *A. rosaeodora* após aplicação de diferentes tratamentos de fertilização.

F.V	G.L	Valores do teste F							
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn
Tratamentos	4	2,95 ^{ns}	2,22 ^{ns}	12,09*	11,00*	0,74 ^{ns}	2,23 ^{ns}	2,16 ^{ns}	19,65*
Blocos	2	6,41*	4,51*	1,24^{ns}	1,79^{ns}	1,28^{ns}	0,69^{ns}	0,93 ^{ns}	1,64 ^{ns}
Resíduo	8	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	8,43	28,29	16,67	14,71	18,15	23,50	42,64	36,13

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} não significativo; CV= coeficiente de variação.

Os tratamentos com adubação em *A. rosaeodora* aos 300 dias após o plantio em campo, não influenciaram significativamente nas concentrações de nitrogênio (N) nas folhas. A concentração de N na testemunha (T1) foi semelhante aos tratamentos que receberam alguma fonte de adubação (Tabela 8), com as concentrações variando de (13,84 g kg^{-1}) no tratamento T2 a (17,02 g kg^{-1}) no T5. Dessa forma, e considerando a ausência de sintomas de deficiência visual deste nutriente e o aspecto fisionômico sadio das plantas de todos os tratamentos, a faixa de concentrações de N encontrados nesta pesquisa, independente do tratamento aplicado, pode estar relacionada às condições naturais onde a espécie está evolutivamente adaptada, exibindo adequado crescimento e desenvolvimento, desde os valores mais baixos até aqueles onde foram observados incrementos.

Os maiores conteúdos de N decorrentes da adição deste nutriente aos tratamentos T4 e T5, pode ser entendido como "consumo de luxo". Nos estudos de nutrição mineral de plantas, quando o elemento se encontra em baixas concentrações no solo, o crescimento das plantas aumenta quando quantidades adicionais deste elemento são fornecidas, resultando no aumento da concentração na planta. Acima de uma concentração crítica (aquela na qual o elemento proporciona 90% do crescimento máximo), o aumento no fornecimento do nutriente não afeta

consideravelmente o crescimento, caracterizando assim o "consumo de luxo" do elemento, definido como sendo seu armazenamento no vacúolo durante períodos de crescimento ativo.

Dentre os macronutrientes, o N apresentou maior concentração nas folhas de pau-rosa quando comparados com os demais com o máximo de 17,02 g kg^{-1}. O N é um dos elementos mais utilizados e exportados pelas plantas devido a necessidade para síntese de clorofila, além de constituir vários compostos nas plantas. Damaceno *et al*. (2019) sugere que nas condições edáficas amazônicas, onde há intensa ciclagem de nutrientes e matéria orgânica empobrecida, teores foliares acima de 15,0 g kg^{-1} já são considerados adequados para espécies florestais.

Ao trabalhar com omissão de nutrientes em mudas de pau-rosa em casa de vegetação, Valencia *et al*. (2010) encontraram concentrações de (17,71 g kg^{-1}) com adubação completa, semelhante aos 16, 93 g kg^{-1} encontrado por Takeda (2008) avaliando o estado nutricional de plantios de pau-rosa com 3 anos de idade. Resultados que são próximos aos deste trabalho.

Em plantios com 4 e 10 anos de idade Krainovic (2011), encontrou valores entre (18,3 g kg^{-1}) e (21,4 g kg^{-1}), respectivamente. As concentrações de nitrogênio em espécies florestais podem ser muito variáveis (Ferreira *et al.*, 2015). No estudo realizado por Damaceno *et al*. (2019), definiram que em plantas jovens de castanheira–do-brasil *B. excelsa*, as faixas de N normais variam de 15,51 a 23,41 g kg^{-1}.

Não foi encontrada diferença estatística nas concentrações de fósforo (P) nas folhas das plantas, variando as concentrações de 0,72 (T4) a 1,36 g kg^{-1} no (T1) (Tabela 8). Conteúdos de P 0,85 a 1,45 g kg^{-1} foram encontrados em plantas jovens de *A. rosaeodora* submetidas a tratamento com adubação química convencional (Valencia *et al*., 2010). De acordo com estes autores o tratamento com omissão de P proporcionou maior crescimento em altura, presumindo-se que a espécie possui baixa exigência nutricional de P para o crescimento em altura, evidenciando características de adaptalidade da planta aos solos de baixa fertilidade natural. Marschner (1991) afirma que este elemento é pouco disponível em solos ácidos, e um recurso de adaptação das plantas a esses solos é a eficiência no crescimento da planta com a baixa disponibilidade deste elemento.

Tabela 8. Concentrações médias de nutrientes em folhas de *A. rosaeodora* aos 10 meses após o plantio com aplicação de diferentes tratamentos de fertilização. Letras diferentes indicam valores significativos entre tratamentos de fertilização (Teste de Scott-Knott *P*<0,05).

	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
N [g kg^{-1}]	14,55ns	13,84ns	14,48ns	15,77ns	17,02ns
P [g kg^{-1}]	1,36ns	1,15ns	0,96ns	0,72ns	0,89ns
K [g kg^{-1}]	4,50b	7,31b	10,28a	5,36b	9,19a
Ca [g kg^{-1}]	6,69b	7,81b	12,90a	7,86b	11,08a
Mg [g kg^{-1}]	1,63ns	1,86ns	2,08ns	1,91ns	2,00ns
Fe [mg kg^{-1}]	959ns	925ns	1373ns	1372ns	1418ns
Zn [mg kg^{-1}]	5,93ns	5,60ns	4,93ns	2,80ns	2,56ns
Mn [mg kg^{-1}]	10,40b	5,53b	5,57b	33,07a	8,33b

Tratamentos: T1: controle; T2: biochar; T3: biochar + esterco de galinha T4: biochar + NPK e T5: biochar +NPK+ esterco de galinha.

As concentrações de potássio (K) foram afetadas pelos tratamentos, houve aumento das concentrações nos tratamentos T2, T3 e T5 (Tabela 8). Os tratamentos T1 e T4 apresentaram baixa absorção, provavelmente por terem tido os menores teores no solo em relação aos demais e pelo índice de acidez elevado encontrado nestes tratamentos. Apesar dos baixos teores de K no solo, as plantas foram eficientes na absorção deste elemento nas poucas quantidades disponíveis.

As concentrações variaram entre 4,50 (T1) e 10,28 g kg^{-1} (T3). Valencia *et al*. (2010) sugerem que plantas jovens de *A. rosaeodora* possuem alta capacidade de extração de potássio, da mesma forma, tem baixa exigência fisiológica. Em geral, os valores adequados de K, para o bom desenvolvimento de espécies florestais, estão por volta de 10,0 g kg^{-1}, podendo ser admitidos valores mínimos de 6,0 g kg^{-1} (Furlani, 2004). As concentrações mais elevadas neste trabalho (10,28 e 9,19 g kg^{-1}) T3 e T5 estão acima dos encontrados por Krainovic, (2011) 5,31 g kg^{-1} em plantios de pau-rosa com 4 anos de idade e Takeda (2008) 6,32 g kg^{-1} com 3 anos.

De uma forma geral as concentrações de cálcio (Ca) em *A. rosaeodora,* foram consideradas suficientes (Tabela 8), uma vez que Epstein (1975) e Malavolta (2006) sugerem que o teor foliar mínimo de Ca indicado como adequado pra espécies florestais, é de 5,0 g kg^{-1}. As maiores concentrações foram encontradas nos tratamentos com adição de biocarvão e esterco T3 e T5, possivelmente, devido esses tratamentos possuírem maiores quantidade de Ca presente, tanto no esterco quanto nas cinzas contida no biocarvão, que é predominantemente constituída por óxidos (MgO e CaO). Concentrações semelhantes aos deste trabalho, foram encontrados em outros trabalhos com pau-rosa (Takeda, 2008; Valencia et al., 2010; Desconci, 2016).

Não houve diferença estatística entre os tratamentos nas concentrações de magnésio (Mg) nas folhas (Tabela 8). Os teores variaram de 1,63 a 2,08 g kg^{-1} nos tratamentos T1 e T3, respectivamente. Os valores estão dentro do adequado para *B. excelsa* 1,59 e 3,28 g kg^{-1}. Concentrações de Mg semelhantes aos do presente estudo foram encontrados por (Takeda, 2008; Valencia *et al*. 2010). Por outro lado, os valores foram superiores aos de (Krainovic, 2011).

Com relação aos teores de Fe, foram encontradas altas concentrações nas folhas com valores entre 925 (T2) e 1418 mg kg^{-1} (T5). De maneira geral os teores de Fe obtidos, estão muito acima dos teores encontrados por Krainovic (2011), em plantio de pau-rosa entre 36,7 e 56,4 mg kg^{-1}, e dos obtidos por Gomes (2012), entre 121 e 148 mg kg^{-1} em mudas de castanheira. Partindo do pressuposto que as quantidades médias para o adequado desenvolvimento vegetal estão em torno de 100 mg kg^{-1} de matéria seca (Kerbauy, 2004), todos os tratamentos apresentaram concentrações de Fe acima deste valor. Essa alta concentração nas folhas pode ser atribuída aos altos valores presente nas fontes de adubação orgânica (Tabela 2) e no solo da área do experimento antes do plantio, indicando a não limitação desse nutriente que está envolvido na biossíntese dos citocromos, de coenzimas e da clorofila.

As concentrações de zinco (Zn) variaram entre 2,56 (T5) e 5,93 (T1) mg kg^{-1}, não havendo diferenças estatística $p<0,05$ entre os tratamentos. Os valores encontram-se abaixo da faixa demandada pelos vegetais que está entre 15,0 e 30,0 mg kg^{-1} (Kerbauy, 2004). Entretanto, em nenhum momento durante o período experimental foram observados sintomas aparentes de deficiência visual desses nutrientes, além disso, é importante destacar a ausência de estudos na literatura que apontem os níveis críticos de deficiência nutricional para esta espécie. Dessa forma, mesmo os teores deste estudo estando abaixo dos valores encontrados na literatura, como mais adequados ao crescimento vegetal, estes não limitaram o crescimento de *A. rosaeodora*.

O teor foliar de manganês (Mn) foi influenciado pelos tratamentos. Sendo possível notar diminuição dos teores deste nutriente nos tratamentos que reduziram a acidez do solo (T2, T3 e T5). Comportamento semelhante foi encontrado em alguns trabalhos, que relacionaram a correção da acidez do solo à redução da concentração dos micronutrientes foliares, uma vez que a absorção desses elementos pelas plantas decresce com a elevação do pH em decorrência da formação de óxidos e hidróxidos de baixa solubilidade (Roque *et al*., 2004; Silva *et al*., 2006). Trabalhando com biocarvão na cultura da *Hevea brasiliensis* (Dharmakeerthi *et al*. 2012) observaram que as concentrações foliares de Mn diminuíram e os autores atribuíram esse menor valor aos efeitos do pH providos pelo biocarvão. As concentrações variaram entre (5,53 mg kg^{-}

^{1} no tratamento (T2) a 33,07 mg kg^{-1}no (T4). De acordo com Dechen e Nachtigall (2006) os teores foliares adequados de Mn devem estar acima de 20 mg kg^{-1} nas plantas.

As ordens de concentração dos macronutrientes considerando os melhores tratamentos para cada nutriente, seguiu a seguinte ordem: N (17,02 g kg^{-1}) > Ca (12,90 g kg^{-1}) > K (10,28 g kg^{-1}) > Mg (2,08 g kg^{-1}) > P (1,36 g kg^{-1}). Nos micronutrientes, a ordem de concentração foram: Fe (1.418 mg kg^{-1}) > Mn (33,07 mg kg^{-1}) > Zn (5,93 mg kg^{-1}).

A correlação p<0,05 entre o nitrogênio e o fosforo foliar não ocorreu em nenhum dos atributos químicos e nutrientes do solo (Tabela 9). Foi possível notar que houve correlação positiva entre o P, Ca, Mn, Zn, pH, SB e V% no solo com o potássio (K) foliar. Enquanto que a acidez potencial (H+Al), CTC efetiva (t) e saturação por alumínio (m%) apresentaram correlação negativa com as concentrações desse elemento na planta.

Tabela 9: Correlação de Pearson entre os atributos químicos e nutrientes do solo com a concentração de nutrientes nas plantas de *A. rosaeodora* após o experimento.

		Nutrientes na planta							
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn
Atributos químicos do solo	Ntotal	0,29^{ns}	-0,4^{ns}	-0,12^{ns}	0,28^{ns}	0,28^{ns}	0,35^{ns}	-0,49^{ns}	0,32^{ns}
	P	-0,05^{ns}	-0,28^{ns}	0,63*	0,87*	0,57*	0,39^{ns}	-0,27^{ns}	-0,24^{ns}
	K	-0,05^{ns}	-0,42^{ns}	-0,09^{ns}	0,12^{ns}	0,23^{ns}	0,14^{ns}	-0,56*	0,40^{ns}
	Ca	0,28^{ns}	-0,11^{ns}	0,72*	0,75*	0,36^{ns}	0,43^{ns}	-0,19^{ns}	-0,42^{ns}
	Mg	0,13^{ns}	-0,24^{ns}	0,43^{ns}	0,30^{ns}	0,13^{ns}	0,49^{ns}	-0,50^{ns}	-0,05^{ns}
	Fe	0,09^{ns}	-0,15^{ns}	-0,11^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,10^{ns}	-0,12^{ns}	-0,02^{ns}	0,40^{ns}
	Zn	0,05^{ns}	-0,10^{ns}	0,55*	0,76*	0,46^{ns}	0,24^{ns}	-0,19^{ns}	-0,37^{ns}
	Mn	0,22^{ns}	-0,27^{ns}	0,69*	0,62*	0,29 ^{ns}	0,35^{ns}	-0,28^{ns}	-0,31^{ns}
	pH	0,10^{ns}	-0,06^{ns}	0,95*	0,70*	0,20 ^{ns}	0,38 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,60*
	MO	0,07^{ns}	0,04^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,07^{ns}	0,10 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	-0,01^{ns}
	H+Al	-0,14^{ns}	0,17^{ns}	-0,75*	-0,54*	-0,16^{ns}	-0,20^{ns}	-0,10^{ns}	0,58*
	SB	0,21^{ns}	-0,22^{ns}	0,68*	0,68*	0,33^{ns}	0,46^{ns}	-0,37^{ns}	-0,28^{ns}
	t	0,24^{ns}	-0,26^{ns}	0,56*	0,62*	0,31^{ns}	0,45^{ns}	-0,40^{ns}	-0,19^{ns}
	T	-0,20^{ns}	-0,11^{ns}	-0,83*	-0,71*	-0,16^{ns}	-0,38^{ns}	-0,10^{ns}	0,59*
	V%	0,28^{ns}	-0,16^{ns}	0,79*	0,76*	0,30^{ns}	0,48^{ns}	-0,28^{ns}	-0,38^{ns}
	M%	-0,05^{ns}	0,15^{ns}	-0,84*	-0,67*	-0,36^{ns}	-0,38^{ns}	0,29^{ns}	0,36^{ns}

*Significativo a 5% e ^{ns} Não Significativo. Informa-se que as correlações são lineares. H+Al - acidez potencial; t - CTC efetiva; T - CTC a pH 7,0; SB – soma de bases; MO-matéria orgânica; V - porcentagem de saturação por bases da CTC a pH 7,0 e m - porcentagem de saturação por Al da CTC efetiva.

Já as concentrações de cálcio (Ca) aumentaram na planta quando se elevaram também o pH e os teores de Ca, P, Zn e Mn no solo (Figura 9). Por outro lado, houve diminuição quando

se aumentaram os índices de acidez. O fósforo no solo foi importante para a absorção de magnésio (Mg) pelas plantas de *A. rosaeodora* e com correlação positiva.

Quanto as concentrações de micronutrientes, o ferro (Fe) não apresentou correlação significativa com os teores de nutrientes e atributos do solo. O zinco (Zn) apresentou correlação negativa moderada $p<0,05$ com os teores de potássio no solo, o que sugere que com o aumento de K na solução do solo, há também diminuição nas concentrações de Zn na planta. Já o manganês (Mn) teve alta correlação negativa com o pH do solo, sendo que as plantas absorveram esse micronutriente em maiores quantidades nos tratamentos com índices de acidez mais elevado (Tabela 9).

Os resultados desse trabalho mostraram que não houve efeito das adubações aplicadas, pelo fato de o pau-rosa ser uma espécie nativa da Amazônia, adaptadas as condições de solo pobre da região, ou como trata-se de um trabalho em andamento, o tempo ainda não foi suficiente, para que ocorra um maior efeito no desenvolvimento das plantas, considerando que o biochar tem um efeito benéfico duradouro.

Por outro lado, o biochar mostrou ser um ótimo condicionador do solo ajudando a melhorar as suas características químicas. Mais trabalhos devem ser conduzidos nessas condições, para permitir uma inferência com maior consistência quanto ao manejo da adubação dessa espécie.

6. CONLUSÕES

A adubação não influenciou nas variaveis de crescimento em *A. rosaeodora* até os 300 dias após o plantio.

O biochar combinado com esterco de galinha foi eficiente na correção de acidez do solo e na diminuição do alumínio trocável, bem como, no aumento nos teores de Ca, Mg, P, Zn e Mn.

A adubação mineral na dosagem aplicada em combinação com biochar tornou o solo mais ácido e reduziu a disponibilidade de outros nutrientes.

As concentrações foliares de K e Ca nas plantas, aumentaram nos tratamentos em combinação biochar e esterco, enquanto que o Mn teve absorção mais acentuada nos tratamentos com acidez elevada.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdel-Fattah, T.M.; Mahmoud, M.E.; Ahmed, S.B.; Huff, M.D.; Lee, J.W.; Kumar, S. 2015. Biochar from woody biomass for removing metal contaminants and carbon sequestration. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 22: 103-109. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.06.030.

Akande, M.O.; Oluwatoyinbo, F. I.; Makinde, E.A.; Adepoju, A.S.; Adepoju, I.S. 2010. Response of Okra to organic and inorganic fertilization. *Nature and Socience*. 8 (11): 261-266.

Alburquerque, J.A.; Salazar. P.; Barrón. V.; Torrent. J.; Del Campillo, M.D.C.; Gallardo, A.; Villar,R. 2013. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development*.33:475–484.

Alencar, J. C.; Fernandes, N. P. 1978. Desenvolvimento de árvores nativas em ensaios de espécies. *Acta Amazonica*,8(4): 523–541. https://doi.org/10.1590/1809-43921978084523.

Amusant, N.; Beauchène, J.; Digeon, A.; Chaix, G. 2016. Essential oil yield in rosewood (Aniba rosaeodora Ducke): initial application of rapid prediction by near infrared spectroscopy based on wood spectra. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 24: 507-515. https://doi: 10.1255/jnirs.1241.

Araújo, V.C.; Corrêa, G.C.; Maia, J.G.S.; Silva, M.L.; Gottlieb, O.R.; Marx, M.C.; Magalhães, M.T. 1971. Óleos essenciais da Amazônia contendo linalol. *Acta Amazonica* 1 (3): 45-47. https://doi.org/10.1590/1809-43921971013045.

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 22 (6), 711 728. http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507.

Alvarez, V.H.; Ribeiro, A.C. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V, V.H. (Ed.). *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º aproximação.* Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, Viçosa, p. 25-32.

Atkinson, C. J.; Fitzgerald, J. D.; Hipps, N. A. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and soil*, 337(1-2): 1-18. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0464-5.

Barata, L. E. S. 2001. Óleo da folha de pau-rosaosewood leaf oil (*Aniba rosaeodora* Ducke): Produção Sustentável na Amazônia (Em português). International Conference, Buenos Aires. IFEAT.

Barata, L. E. S.; Quadros de Carvalho, R. 2007. "Aromas da Amazônia: Substituindo pau-rosa na perfumaria? Part I". Perfumer e Flavorist. Vol.32, n.3.

Barreto, D. C. S.; Gonçalves, J. F. C.; Santos Junior, F. A. V.; Bariane, A.; Sampaio, P.T.B. 2007. Biomass accumulation, photochemical efficiency of photosystem II, nutrient contents and nitrate reductase activity in young rosewood plants (*Aniba rosaeodora* Ducke) submitted to different NO3- : NH4+ ratios. *Acta Amazonica* 37: 533-494. https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000400008.

Barbosa, A.P.; Freitas, M. S.; Useche, F.L.; Santos, A.T.C.; Chaar, J.S.2005. Produção de óleo de Pau-Rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) e o crescimento de mudas plantadas. III Simpósio Brasileiro de Óleo Essencial. Instituto Agronômico de Campinas. Novembro, SBOE-128, p.131. https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/23971.

Benchimol, S. 2001. *Producão de óleo de pau-rosa, copaíba e feijão de porco* (Em português). Paper presented to the International Conference on Essencial Oils and Aromas, Buenos Aires, Argentina, 11 to 15 November.

Berilli, S.S.; Sales, R.A.; Berilli, A.P.C.G.; Martineli, L.; Hell, L.R.; 2019. *Propagação de mudas clonais de café Conilon com resíduos alternativos*, in: Partelli, F.L., Espindula, M.C. (Eds.). Café Conilon: conhecimento para superar desafios. Alegre, ES:CAUFES, pp 151-164.

Boechat, C.L.; Ribeiro, M.O.; Ribeiro, L.O.; Santos, J.A.G.; Accioly, A.M.A. 2014. Lodos de esgoto doméstico e industrial no crescimento inicial e qualidade de mudas de pinhão-manso. *Bioscience Journal*, 30 (3): 782-791.

Boruvka L, Mladkova L, Drabek O. Factors controlling spatial distribution of soil acidification and Al forms in Forest soils. Journal of Inorganic Biochemistry 2005; 99(9): 1796-1806. PMid:16095712. http://dx.doi.org/10.1016/j. jinorgbio.2005.06.028.

Busscher, W.J.; Novak, J. M.; Evans, D.E.; Watts, D.W.; Niandou, M.A.S.; Ahmedna, M. 2010. Influence of pecan biochar on physical properties of a norfolk loamy sand. *Soil Science*. 175: 10-14. doi: 10.1097 / SS.0b013e3181cb7f46.

Butnan, S.; Deenik, J.L.; Toomsan, B.; Antal, M.J.; Vityakon, P. 2015. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. *Geoderma*. 237/238: 105-116. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.08.010.

Bugbee, G. 1996. Growth, analyses and yield components. In: Salysbury, F. B. (Ed.). *Units, Symbols and Terminology for plant physiology*, Oxford University Press, New York, p. 115-119.

Brasil. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. (2019). Recuperado em 12 dezembro de 2019, de http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home/.

Bhering, L.L. 2017. Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17: 187-190.

Carneiro, J. G. A.1995. *Produção e controle de qualidade de mudas florestais*. 1. ed. Curitiba: UFPR/FUPEF, 451 p.

Contim, L. A. S.; Contim, L. S. R. 2018. A tecnologia produtiva do pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) como aliada ao desenvolvimento sustentável da região amazônica. *Inclusão Social*, 12(1), 199-207.

Chan, KY.; Van Zwieten ,L.; Meszaros, I.; Downie A.; Joseph, S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Aust J Soil Res*, 45:629–634. https://doi.org/10.1071/SR07109.

Chan, Y.K.; Van Zwieten, L.; Meszaros, I.; Downie, A.; Joseph, S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. *Aust J Soil Res*, 46:437–444. https://doi.org/10.1071/SR08036.

Chintala, R.; Schumacher, T. E.; Mcdonald, L. M.; Clay, D. E.; Malo, D. D.; Papiernik, S. K et al. 2014. Phosphorus sorption and availability from biochars and soil/biochar mixtures. *Clean–Soil, Air, Water*, 42, (5): 626-634.

Clay, J.W.; Clement, C.R.; Sampaio, P.T.B. 1999. *Biodiversidade Amazônica: exemplos estratégias de utilização.* Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/SEBRAE, Manaus, Amazonas. 409 p.

Cravo, M.S.; Smyth, T.J. 1997. Manejo sustentado da fertilidade de um Latossolo da Amazônia Central sob cultivos sucessivos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21 (4):607-616.

Damaceno, J. B. D.; Lobato, A. C. N.; Oliveira, D. M. 2019. Peer review sobre os estudos dos teores foliares de nutrientes em Bertholletia excelsa Bonp. *Ecologia e* Nutrição Florestal/*Ecology and Forest Nutrition*, 7, e04.

Damaceno, J.B.D. 2017. *Biocarvão e efeito residual de adubação fosfatada em mudas de castanheira-do-brasil (Bertholletia excelsa Bonpl.) em Latossolo da Amazônia*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Amazonas. 86p.

Davanso, V. M.; Souza, L. A.; Medri, M. E.; Pimenta, A.; Bianchini, E. 2002. Photosynthesis, Growth and development of *Tabebuia ovellanedae* Lor. Ex Griseb. (Bignoniaceae) in flooded soil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 45: 375-384.

Dharmakeerthi, R. S.; Chandrasiri, J. A. S.; Edirimanne, V. U. 2012. Effect of rubber wood biochar on nutrition and growth of nursery plants of Hevea brasiliensis established in an Ultisol. *SpringerPlus*, 1: 84-96.

Del Quiqui, E. M.; Martins, S. S.; Pintro, J. C.; Andrade, P. J. P.; Muniz, A. S. 2004. Crescimento e composição mineral de mudas de eucalipto cultivadas sob condições de diferentes fontes de fertilizantes. *Acta Scientiarum Agronomy*, 26 (3): 293-299.

Dechen, A. R.; Nachtigall, G. R. 2006. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 327-354.

Dempster, D. N.; Gleeson, D. B.; Solaiman, Z. I.; Jones, D. L.; Murphy, D.V. 2012. Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with Eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil. *Plant and Soil*, 354 (1-2): 311-324.

Demattê, J.A.M.; Epiphanio, J.C.N.; Formaggio, A.R. 2003. Influência da matéria orgânica e de formas de ferro na reflectância de solos tropicais. *Bragantia*. 62 (3), 451-464.

Demattê, J.L.I. 1988. *Manejos de solos ácidos dos trópicos úmidos* – Região Amazônica. Campinas: Fundação Cargill, 215p.

Desconci, D. 2016. *Biomassa e alocação de nutrientes em plantios comerciais de Pau-rosa (Aniba rosaeodora* Ducke*), em duas regiões da Amazônia central*. Dissertação de Mestrado (Ciências de Florestas Tropicais (CFT)), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 64p.

Du, Z.; Wang, Y.; Huang, J.; Lu, N.; Liu, X.; Lou, Y.; Zhang, Q. 2014. Consecutive biochar application alters soil enzyme activities in the winter wheat–growing season. *Soil. Sci*, 179 (2): 75– 83. doi: 10.1097 / SS.0000000000000050.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). 1999. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.

Epstein, E. 1975. Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Aplicações. São Paulo: EDUSP.

Falcão, N.P.S.; Souza, L.A.G.; Oliveira, D.M. 2013. Efeito da adição de carvão e serragem em solo Latossolo Amarelo da Amazônia Central no desenvolvimento e nodulação natural de feijão-caupi. In: Noda, H.; Souza, L.A.G.; Silva Filho, D.F. da. (Org.). *Pesquisas Agronômicas para Agricultura Sustentável na Amazônia Central.* Manaus, Amazonas: NERUA – CSAS – INPA, Cap. 16, p. 233-252. https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/34761

Farias, W.M.; Andrade, L.A.; Pereira, E.D.; Dias, B.O.; Albuquerque, M.B.; Fraga, V.S. 2013. Propriedades físicas e químicas de substratos produzidos utilizando macrófitas aquáticas. Semina: *Ciências Agrária*, 34(6): 3257-3270.

Ferreira, M. J.; Gonçalves, J. F. de C.; Ferraz, J. B. S. 2012. Crescimento e eficiência no uso da água de plantas jovens de castanheira-da-amazônia em área degradada e submetidas à adubação. *Ciência florestal*, 22(2): 393-401.

Ferreira, M. J.; Gonçalves J. F. C.; Ferraz, J. B. S.; Corrêa, V. M. 2015. Características nutricionais de plantas jovens de *Bertholletia excelsa* Bonpl. sob tratamentos de fertilização em área degradada na Amazônia. *Scientia Florestalis*, 43: 863-872.

Fidel, R. B.; Laird, D. A.; Thompson, M. L.;Lawrinenko, M. 2017. Characterization and quantification of biochar alkalinity. *Chemosphere*, *167*, 367-373.

Fink, J.R.; Inda, A.V.; Bavaresco, J.; Barrón, V.; Torrent, J.; Bayer, C. 2016. Adsorptions and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. *Soil and Tillage Research* 155, 62-68.

Furtini Neto, A. E.; Siqueira, J. O.; Curi, N.; Moreira, F. M. S. 2000. Fertilização em reflorestamento com espécies florestais nativas. In: Gonçalves, J. L. de M.; Benedetti, V. (Ed.) *Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba*: IPEF, p. 351-383.

Furlani, A. M. C. Nutrição Mineral. 2004. In: Kerbauy, G. B. *Fisiologia de Vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 40-75.

Francisco, A.; Belote, J. 2001. *Calagem e adubação em espécies florestais plantadas na propriedade rural*. Colombo: Embrapa. 6 p. (Circular Técnica, 54).

Gama, R. T. D. 2018. *Biocarvão e adubação nitrogenada influenciando o crescimento e o estado nutricional de mudas de castanheiras-do-brasil em um latossolo da Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado (Agricultura no trópico úmido (ATU)), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 84p.

Galinato, S. P.; Yoder, J. K.; Granatstein, D. 2011. The economic value of biochar in crop production and carbon sequestration. *Energy Policy*, (10): 6344-6350. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.035.

Giongo, J.L et al. 2017 Trypanocidal activity of the compounds present in Aniba canelilla oil against Trypanosoma evansi and its effects on viability of lymphocytes. *Microbial Pathogenesis* 103: 13-18.

Guimarães, R.S.; Padinha, F.J.; Cedano, J.C.C.; Damaceno, J.B.D.; Gama, R.T.; Oliveira, D.M.; Teixeira, W.G.; Falcão, N.P.S. 2017. Efeito residual de biocarvão e pó de serra nos teores de carbono e nitrogênio total em Latossolo Amarelo na Amazônia. *Revista Virtual de Química*. 9 (5), 1944-1956.

Gomes, I.B. 2012. *Respostas ecofisiológicas de plantas jovens de Bertholletia excelsa* Bonpl. *submetidas à fertilização em plantio homogêneo*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 59p.

Gonçalves, J. L. M.; Nogueira Junior, L. R.; Ducatti, F.2008. Recuperação de solos degradados. In: Kageyama, P. Y. et al. (Org.). *Restauração ecológica de ecossistemas naturais*. Botucatu: FEPAF, p. 111-163.

Goyal, S.; Chander, K.; Mundra, M. C.; Kapoor, K. K.1999. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 29 (2): 196-200. https://doi.org/10.1007/s003740050544.

Gul, S.; Whalen, J.K.; Thomas, B.W.; Sachdeva, V.; Deng, H. 2015. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems na Environment*, 206:46-59. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.015.

Glaser, B.; Lehr, V. 2019. Biochar efects on phosphorus availability in agricultural soils: A meta-analysis. *Scientific Reports*, 9, 9338. https://doi.org/10.1038/s41598-019-45693-z

Handa, L.; Sampaio, P.T.B; Quisen, R.C. 2005. Cultura in vitro de embriões e de gemas de mudas de pau-rosa (Aniba rosaeodora Ducke). *Acta Amazônica*, 35(1): 29-33. http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672005000100005.

Havlin, J. L.; Tisdale, S. L.; Nelson, W. L. Beaton, J. D. 2005. Soil acidity and alkalinity. In: Havlin, J. L.; Tisdale, S. L.; Nelson, W. L. Beaton, J. D. *Soil fertility and fertilizers*. Pearson Education India.v.7. p. 67.

Jin, J.W.; Li, Y.A.; Zhang, J.Y.; Wu, S.C.; Cao, Y.C.; Liang, P.; Zhang, J.; Wong, M.H.; Wang, M.Y.; Shan, S.D.; Christie, P. 2016. Influence of pyrolysis temperature on properties and

environmentalsafety of heavy metals in biochars derived from sewage sludge. J. *Hazard. Mater*, 320: 417-426. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.08.050.

Kerbauy, G.B. 2004. *Fisiologia Vegetal*. Editora Guanabara, Rio de Janeiro, p.531.

Kochian L. V, Piñeros M. A, Howkenga O. A. 2005. The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. *Plant and Soil*, 274(1-2): 175-195. http://dx.doi.org/10.1007/s11104-004-1158-7.

Kubitzki, K.; Renner, S.1982. Lauraceae (Aniba). In: Flora Neotropica, Monograph 31. New York Botanic Garden, New York.

Krainovic, P.M.2011. *Plantios de Pau-rosa* (*Aniba rosaeodora* Ducke) *em Áreas com Histórico de Degradação por Atividades Agrícolas e Pecuárias.* Dissertação de Mestrado (Ciências de Florestas Tropicais (CFT)), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 105p.

Keiluweit, M.; Nico, P.S.; Johnson, M.G.; Kleber, M. 2010. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environmental Science & Technology*, 44: 1247-1253.

Kitamura, E. A.2004. *Inter-relações da variabilidade especial da granulometria do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto*. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - UNESP, Ilha Solteira.109p.

Kloss, S.; Zehetner, F.; Wimmer, B.; Buecker, J.; Rempt, F.; Soja, G.; 2014. Biochar application to temperate soils: effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 177: 3-15. https://doi.org/10.1002/jpln.201200282.

Lara, C. S.; Costa, C. R.; Sampaio, P. T. B. 2021. O mercado de sementes e mudas de pau-rosa (*Aniba* spp.) no Estado do Amazonas. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 59(3), e221035. https://doi.org/10.1590/1806- 9479.2021.221035

Lehmann, J., Joseph, S. 2009. Biochar For Environmental Management: *Science And Technology*. Earthscan, London,UK.

Lehmann, J; Joseph, S.2015. *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*. 2nd ed. Routledge, 907 p.

Lima, H. N.; Vale, F. D.; Siqueira, J. O.; Curi, N. 1997. Crescimento inicial a campo de sete espécies arbóreas nativas em resposta à adubação mineral com NPK. *Ciência e Agrotecnologia*, *21*(1): 189-195.

Lima, I.M.; Mcaloon, A.J.; Boateng A.A. 2008. Activated carbon from broiler litter: process description and cost of production. *Biomass Bioenergy*, 32:568– 572. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.11.008.

Lima, S. L.; Marimon Junior, B. H.; Melo-Santos, K. D. S.; Reis, S. M.; Petter, F. A.; Vilar, C. C.; Marimon, B. S. 2015. Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas

de angico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(2): 120-131. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000200004.

Lima, S.L.; Tamiozzo, S.; Palomino, E.C.; Petter, F.A.; Marimon-Junior, B.H.2015. Interactions of biochar and organic compound for seedlings production of Magonia pubescens A. St. Hil. *Revista Árvore*, 39: 655-661 https://doi.org/10.1590/0100-67622015000400007.

Liu, X.; Ye, Y.; Liu, Y.; Zhang, A.; Zhang, X.; Li, L.; Pan, G.; Kibue, G.W.; Zheng, J.; Zheng, J. 2014. Sustainable biochar effects for low carbon crop production: A 5-crop season field experiment on a low fertility soil from Central China. *Agricultural Systems*. 129: 22-29. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.05.008.

Li, H.; Dong, X.; Silva, E. B.; Oliveira, L. M.; Chen, Y.; Ma, L. Q. 2017. Mechanisms of metal sorption by biochars: Biochar characteristics and modifications. C*hemosphere*, 178: 466-478. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.072.

Lone, A.H.; Najar, G.R.; Ganie, M.A.; Sofi, J.A., ALI, T.2015. Biochar for Sustainable Soil Health: A Review of Prospects and Concerns. *Pedosphere*, 25: 639–653. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30045-X.

Lopes, A.S, Guilherme, L.R.G. 2004. Interpretação de análise de solo - Boletim Técnico no 2. ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. p. 50.

Lopes, Alfredo Scheid; SILVA, Marcelo de Carvalho; Guilherme, Luiz Roberto Guimarães. 1991. *Acidez do Solo e Calagem* - Boletim Técnico Nº 1. Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA, São Paulo, ed. 3, p. 22.

Macêdo, J.L.V.; Rodrigues M.R. 2000. Solos da Amazônia e o cultivo do dendezeiro. In: Viégas, I.J.M.; Müller, A.A. editors. *A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira*. Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental. 73-87.

Madari, B. E.; Costa, A. R.; Castro, L. M.; Santos, J. L. S.; Benites, V. D. M.; Rocha, A. D. O.; Machado, P. D. A. 2006. Carvão Vegetal como condicionador de solo para Arroz de Terras Altas (Cultivar Primavera): um estudo prospectivo. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão. 06p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 125).

Magalhães, L. M.; Alencar, J. C. 1979. Fenologia do pau-rosa (*Aniba duckei* kostermans), Lauraceae, em floresta primária na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 9 (2): 227–232. http://dx.doi.org/10.1590/1809-43921979092227.

Malavolta, E. 2006. *Manual de nutrição mineral de plantas*. Agronômica Ceres.
Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. 1997. *Avaliação do Estado Nutricional das Plantas - Princípios e Aplicações*. 2 ed. Piracicaba, SP: Potafós, pp 319.

Marschner, H. 1991. Mechanism of adaptation of plants to acids soil. *Plant and soil* 134(1):1-20.

Mendez, A.; Tarquis, A.M.; Saa-requejo, A.; Guerrero, F.; Cascó, G. 2013. Influence of pyrolysis temperature on composted sewage sludge biochar priming effect in a loamy soil. *Chemosphere*, 93: 668-676.

Miyazawa, M.; Pavan, M. A.; Muraoka, T.; Carmo, C. A. F. S.; Melo, W. J. 1999. Análise química de tecidos vegetais. *In*: Silva, F. C. (Ed.). *Manual de Análise Química de Solos, Plantas e Fertilizantes*. EMBRAPA, Brasília, p. 172-223.

Moreira, A.; Malavolta, E. 2002. Variação das propriedades químicas e físicas do solo e na matéria orgânica em agroecossistema da Amazônia Ocidental (Amazonas). Piracicaba: USP-CENA, 79p.

Nicholaides, J.J.; Sanchez, P.A.; Bandy, D.E.; Villachica, J.H.; Coutu, S.J.; Valverde, C.S. 1983. Crop production systems in the amazon basin. In: Moran, E.F. (Ed.). *The dilema of amazon development*. Westview Press- Boulder, Colorado, p. 101-154.

Novak, J.M.; Busscher, W.J.; Laird, D.L.; Ahmedna, M.; Watts, D.W.; Niandou, M.A.S. 2009. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*,174: 105-112.

Ohashi, L. S.; Rosa, J. A.; Santana, C. L. 1997. Green. Óleo de pau-rosa brasileiro: a produção sustentável e gestão da qualidade do óleo (Em português). *Perfumer and Flavorist* 22:1-5.

Ohashi, S.T.; Rosa, L. S. 2004. Pau-rosa – *Aniba rosaeodora* Ducke. *Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia* (4).2 p.

Ohashi, S.T.; Rosa, L. S.; Mekdece, F.S. 2004. Influência do diâmetro e da altura de corte das cepas na brotação de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). *Rev. Ciências. Agrárias.*, 41: 137-144.

Oliveira, D. M. 2017. *Biocarvão e adubação fosfatada no crescimento de mudas de castanheira-do-brasil em latossolo amarelo da Amazônia Central*. Tese de doutorado, Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho", Campus Botucatu. Botucatu, São Paulo. 96p.

Oliveira, J. B.; Jacomine, P.K.T.; Camargo, M.N. 1992. *Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu conhecimento*. Funep, Jaboticabal. 201p.

Oliveira, D. M.; Falcão, N. P. S.; Damaceno, J. B. D.; Guerrini, I. A. 2020. Rendimento do Biocarvão da Casca da Castanha do Brasil e seus Efeitos na Acidez do Solo e na Disponibilidade de Fósforo em Latossolo Amarelo da Amazônia Central. *Journal of Agricultural Science* , 12 (3). https://doi.org/10.5539/jas.v12n3p222.

Omil, B.; Piñeiro, V.; Merino, A. 2013. Soil and tree responses to the application of wood ash containing charcoal in two soils with contrasting properties. *Forest Ecology and Management*, 295: 199-212. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.01.024.

Pavan, M.A.; Oliveira, E.L. 1997. *Manejo da acidez do solo* Londrina: IAPAR, 86p. (IAPAR. Circular, 95).

Petter, F.A. 2010. *Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos e ambientais de seu uso em solos de Cerrado*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 130 p.

Petter, F. A.; Madari, B. E.; Silva, M. A. S. D.; Carneiro, M. A. C.; Carvalho, M. T. D. M.; Marimon Júnior, B. H.; Pacheco, L. P. 2012. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(5): 699-706. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000500010.

Pinto, J. R.; Marshall, J. D.; Dumroese, R. K.; Davis, A. S.; Cobos, D. R. 2011. Establishment and growth of container seedlings for reforestation: A function of stocktype and edaphic conditions. *Forest Ecology and Management*, *261*(11): 1876-1884. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.02.010.

Poorter, H.1990. Leaf area ratio net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. *Journal of Ecology*, 18: 553 – 559. https://doi.org/10.1007/BF00317209.

Pluchon, N.; Gundale, M. J.; Nilsson, M. C.; Kardol, P.; Wardle, D. A. 2014. Stimulation of boreal tree seedling growth by wood-derived charcoal: effects of charcoal properties, seedling species and soil fertility. *Functional ecology*, 28(3): 766-775. https://doi.org/10.1111/1365-2435.12221.

Prado, H. 2003. *Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação, levanta mento e manejo*. 3ª ed., Piracicaba.

Rajapaksha, A. U.; Vithanage, M.; Ahmad, M.; Seo, D.C.; Cho, J. S.; Lee, S.E.; Lee, S. S.; Ok Y. S.2015. Enhanced sulfamethazine removal by steam-activated invasive plant-derived biochar. *J. Hazard Mater* 290:43–50.

Renó, N. B.; Siqueira, J. O.; Curi, N.; Vale, F. R. 1997. Limitações nutricionais ao crescimento inicial de quatro espécies arbóreas nativas em latossolo vermelho-amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 32(1): 17 – 25.

Rezende, E.I.P.; Angelo, L.C.; Dos Santos, S.S.; Mangrich, A.S. 2011. Biocarvão (Biochar) e sequestro de carbono. *Revista Virtual de Quimica* 3: 426–433.

Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez, V. H. (Eds.). 1999. *Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais: Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Viçosa, Minas Gerais.

Ribeiro, D.O.; Castoldi, G.; Rodrigues, C.R.; Silva, A J.; Pereira, R.M.; Kuss, G.M. 2019. Atributos físicos e químicos de um Latossolo submetido a aplicações sucessivas de cama de peru em pastejo rotacionado. Colloquium Agrariae. 15 (5), 11-23.

Rosa, L. S.; Ohashi, S. T.; Silva, A. S.1999. Efeito da profundidade de semeadura na germinação de sementes de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). *Revista de Ciencias Agrarias*, 31(1): 29–36.

Rodrigues, T.E. Solos da Amazônia. 1996. In: Alvarez, V.H.;Fontes, L.E.F; Fontes, M.P.F. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa, MG, Sociedade brasileira de ciência do solo. 19-60p.

Roque, C.G.; Prado, R.M.; Natale, W.; Beutler, A.N.; Centurion, J.F. 2004. Estado nutricional e produtividade da seringueira em solo com calcário aplicado superficialmente. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39: 485-490.

Santalla, M.; Omil, B.; Rodríguez-Soalleiro, R.; Merino, A. 2011. Effectiveness of wood ash containing charcoal as a fertilizer for a forest plantation in a temperate region. *Plant and Soil*, 346: 63-78. https://doi.org/10.1007/s11104-011-0794-y.

Santos, M. R.; Innecco, R. 2004. Adubação orgânica e altura de corte da erva-cidreira brasileira. *Horticultura Brasileira*, *22*(2): 182-185. https://doi.org/10.1590/S0102-05362004000200004.

Santos, R. D.; Lemos, R. D.; Santos, H. D.; Ker, J.; Anjos, L. D. 2013. *Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa*. SBCS/EMBRAPA/CNPS.102p.

Sampaio, P. T.; Ferraz, I. D.; Camargo, J. L. 2003. *Manual de sementes da Amazônia*. Projeto Jacaranda ed. Manaus, Amazonas: INPA.

Sampaio, P. T.; Viera, G.; Barbosa, A. 1999. Pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). In: Sampaio, P.; Charles, R. (Eds.). *Biodiversidade Amazônica: exemplos e estratégias de utilização*. Sebrae ed. Manaus, Amazonas: INPA, 11: 290–297.

Sanchez, P. A.; Bandy, D. E.; Villachica, J. H.; Nicholaides, J. J. 1982. Amazon Basin soils: management for continuous crop production. *Science*, 216: 821-827. https://doi.org/10.1126 / science.216.4548.821.

Seabra, C. E. B. C.; Osiecka, A.; Andersen, P. C.; Tucci, C. A. F.; Pereira, B. F. F.; Minogue, P. J. 2017. Influência das limitações de fósforo no crescimento, partição de nutrientes e fisiologia de mudas de balsa (*Ochroma piramidale*). *Journal of Tropical Forest Science* , 29(4): 530–540. https://doi.org/10.26525/jtfs2017.29.4.530540

Sena, J. S.; Tucci, C. A. F.; Lima, H. N.; Hara, F. A. S.2010. Efeito da calagem e da correção dos teores de Ca e Mg do solo sobre o crescimento de mudas de angelim-pedra (*Dinizia excelsa* Ducke). *Acta amazonica*, 40(2): 309 – 318. https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000200009.

Simões, J. W.; Leite, N. B.; Tanaka, O. K.; Oda, S. 1974. Fertilização parcelada na produção de mudas de Eucalipto. *Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais*,8: 99 – 109.

Simões, P.H.O.; Palheta, L.F.; Vale, R.S.; Correia, R.G.; Neves, R.L.P. 2015. Crescimento e qualidade de mudas de Castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl. Lecythidaceae) em substratos fertilizados com macronutrientes. *EnciclopédiaBiosfera*, 11: 689-703.

Silva, A. R. M.; Tucci, C. A. F.; Lima, H. N.; Souza, P. A.; Venturin, N.2008. Efeitos de doses crescentes de calcário na produção de mudas de sumaúma (*Ceiba pentandra* L. Gaertn). *Floresta*, 38(2): 295- 302. http://dx.doi.org/10.5380/rf.v38i2.11623.

Silva, T. A. F. da; Tucci, C. A. F.; Santos, J. Z. L.; Batista, I. M. P.; Miranda, J. F. de; Souza, M. M. de. 2011. Calagem e adubação fosfatada para produção de mudas de *Swietenia macrophylla*. *Floresta*, 41(3): 459-470.

Sigua, G. C.; Stone, K. C.; Hunt, P. G.; Cantrell, K. B.; Novak, J. M. 2015. Increasing biomass of winter wheat using sorghum biochars. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*(2): 739-748. http://dx.doi.org//10.1007/s13593-014-0253-2.

Solla-Gullon, F.; Santalla, M.; Rodríguez-Soalleiro, R. J.; Merino, A. 2006. Nutritional status and growth of a young *Pseudotsuga menziesii* plantation in a temperate region after application of wood-bark ash. *Forest Ecology and Management*, 237: 312-321. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.054.

Sousa, D.M.G.; Lobato, E. 2005. *Agência Embrapa de Informação Tecnológica: Latossolos. Bioma Cerrado*. Parque Estação Biológica, Brasília – DF.
Souza, P. A.; Nelson Venturin, N.; Macedo, R. L. G. 2006. Adubação mineral do ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*). *Ciência Florestal*,16(3): 261- 270. https://doi.org/10.5902/198050981907.

Souza, C.A.S.; Corrêa, F.L.O.; Mendonça, V.; Vichiato, M.; Carvalho, J.G. 2006. Doses de fósforo e zinco no acúmulo de macro e micronutrientes em mudas de cacaueiro. *Agrotrópica*. 18: 25-38.

Souza, P. A.; Venturin, N.; Macedo, R. L. G.; Venturin, R. P.; Tucci, C. A. F.; Carlos, L. 2009. Nutritional assessment of cedar seedlings (*cedrela fissilis*; vell.) grown in a greenhouse. *Cerne*, 15(2):236–243.Disponível em: < http://cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/208 >. Data de acesso: 10 fev. 2021.

Souza, C. A. S.; Tucci, C. A. F.; Silva, J. F.; Ribeiro, W. O. 2010. Exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.). *Acta Amazonica*, 40(3): 515-522. http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672010000300010.

Sombroek, W.G. 1984. Soils of the Amazon Region. In: Sioli, H.; Junk, W. (Eds). *The Amazon limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dordrecht/Boston/Lancaster, p. 521-536. https://doi.org/10.1007/978-94-009-6542-3_20.

Spokas, K. A.; Novak, J. M.; Venterea, R. T. 2012. Biochar's role as an alternative N-fertilizer: ammonia capture. *Plant and soil*, 350(1-2); 35-42. https://doi.org/10.1007/s11104-011-0930-8.

Steiner, C.; Teixeira, W.G.; Lehmann, J.; Nehls, T.; Macêdo, J.L.V. de; Blum, W.E.H.; Zech, W. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and Soil*, 291: 275-290.DOI: 10.1007/ s11104-007-9193-9.

Sprey, M. M. 2020. *Adubação orgânica e mineral no estabelecimento de mudas clonais de café Conilon BRS Ouro Preto na Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado (Agricultura no trópico úmido (ATU)), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 61p.

Spironello, W. R.; Sampaio, P.T.B.; Ronchi-Teles, B. 2004. Produção e predação de frutos em *Aniba rosaeodora* Ducke var. amazonica Ducke (Lauraceae) em sistema de plantio sob floresta de terra firme na Amazônia Central, *Acta botânica. brasileira.* 18(4): 801-807.

Takeda, P. S. 2008. *Avaliação de biomassa e óleo de rebrotas de galhos e folhas de pau-rosa* (*Aniba rosaeodora* Ducke) *em plantios comerciais submetidos à poda e adubação*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 87p.

Teixeira, W. G.; Kern, D. C.; Madari, B. E.; Lima, H. N.; Woods, W. 2009. *As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/684554.

Tucci, C. A. F.; Souza, P. A.; Venturin, N.; Barros, J. G. 2007. Calagem e adubação para a produção de mudas de mogno (*Swietenia macrofylla* King). *Cerne*, 13(3): 299-307.

Tucci, C. A. F.; Lima, H. N.; Gama, A. da Silva; Costa, H. S.; Souza, P.A. 2010. Efeitos de doses crescentes de calcário em solo Latossolo Amarelo na produção de mudas de pau-de-balsa (Ochroma lagopus SW., Bombacaceae). *Acta Amazonica*, 40(3): 543-548. http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672010000300013.

Tucci, C. A. F., Santos, J. Z. L., da Silva Júnior, C. H., de Souza, P. A., Batista, I. M. P., & Venturin, N. 2011. Desenvolvimento de mudas de Swietenia macrophylla em resposta a nitrogênio, fósforo e potássio. Floresta, 41(3).

Useche, F. L. 2003. *Estabelecimento e desenvolvimento inicial de plântulas de Aniba Rosaeodora Ducke em clareiras artificiais*. Dissertação de Mestrado INPA/UFAM, 66p. Manaus, Amazonas.

Valencia, W. H.; Sampaio, P. de T. B.; Souza, L. A. G. 2010. Crecimiento inicial de Palo de Rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) en distintos ambientes de fertilidad. *Acta amazônica*, 40(4): 693 – 698. http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672010000400008.

Vale Júnior J.F.; Souza M.I.L.; Nascimento P.P.R.R.; Cruz D.L.S. 2011. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. *Agroambiente* 5: 158-165. http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v5i2.562.

Van Zwieten, L.; Bhupinderpal, S.; Joseph S, Kimber S.; Cowie A.; Chan Y. 2009. Biochar reduces emissions of non-CO2 GHG from soil. In: Lehmann J, Joseph S (eds) *Biochar for environmental management*. Earthscan Publications Ltd, p. 227–249.

Van Zwieten, L,.; Kimber, S.; Morris, S.; Chan, K.Y.; Downie, A.; Rust, J.; Joseph, S.; Cowie, A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*.327:235–246.

Vandecasteele, B.; Sinicco, T.; D'hose, T.; Nest, T. V.; Mondini, C. 2016. Biochar amendment before or after composting affects compost quality and N losses, but not P plant uptake. *Journal of environmental management*,168: 200-209. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.045.

Venturin, N.; Duboc, E.; Vale, F. R.; Davide, A. C. 1996. Fertilização de plântulas de *Copaifera langsdorffii* desf. (óleo copaíba). *Cerne*, 2 2): 31-47.

Vieira, L.S.; Santos, P.C.T. 1987. *Amazônia: seus solos e outros recursos naturais*. Agronômica Ceres, São Paulo. 416p.

Vieira, I. C. G.; Silva, J. M. C.; Toledo, P. M. 2005. Estratégias para evitar a perda de biodiversidade na Amazônia. *Estudos Avançados*, 19(54): 153-164. http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142005000200009.

Wastowski, A.D.; Rosa, G.M.; Cherubin, M.R.; Rigon, J.P.G. 2010. Caracterização dos níveis de elementos químicos em solo, submetido a diferentes sistemas de uso e manejo, utilizando espectrometria de fluorescência de raios-x por energia dispersiva (EDXRF). *Química Nova*. 33 (7), 1449-1452.

Yanai, Y.; Toyota, K.; Okazaki, M. 2007. Effects of charcoal addition on N2O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experi- ments. *Soil Sci Plant Nutr* 53:181–188. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00123.x.

Xiang, Y.; Deng, Q.; Duan, H.; Guo, Y. 2017. Effects of biochar application on root traits: a meta-analysis. *GCB Bioenergy*, 9, 1563. https://doi.org/10.1111/gcbb.12449.

Zhang, R.; Zhang, Y.; Song, L.; Song, X.; Hänninen, H.; Wu, J. 2017. Biochar enhances nut quality of Torreya grandis and soil fertility under simulated nitrogen deposition. *Forest Ecology and Management*, *391*, 321-329.

Yuan, J.R.; Xu, W.; Qian, A.N.D.; WANG, R. 2011a. Comparison of the ameliorating effects on an acidic ultisol between four crop straws and their biochars. J. Soil. Sediment. 11: 741–750.

Yao, Y.; Gao, B.; Inyang, M.; Zimmerman, A.R.; Cao, X.; Pullammanappallil, P.; Yang, L. 2011. Biochar derived from anaerobically digested sugar beet tailings: characterization and phosphate removal potential. Bioresource Technol. 102(10):6273–6278. 2011.