



Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais - PPG CFT

INFLUÊNCIA DO BIOCARVÃO E ADUBAÇÃO NITROGENADA NA PRODUÇÃO DE
MUDAS DE PAU-ROSA (*Aniba rosaeodora* Ducke) EM LATOSOLO DA AMAZÔNIA

LUIZ ANDRÉ GOMES NEVES

Manaus, Amazonas

2019

LUIZ ANDRÉ GOMES NEVES

**INFLUÊNCIA DO BIOCARVÃO E ADUBAÇÃO NITROGENADA NA PRODUÇÃO DE
MUDAS DE PAU-ROSA (*Aniba rosaeodora* Ducke) EM LATOSOLO DA AMAZÔNIA**

Orientador: Dr. Paulo de Tarso Barbosa Sampaio

Co-orientador: Dr. Newton Paulo de Souza Falcão

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais.

Manaus, Amazonas

2019

DEDICAÇÃO

Especialmente aos meus pais, Pedro e Nádia

Por me darem apoio em todos os momentos...

Aos meus irmãos e sobrinha, Pedro, Patrícia, Priscila e Catharina,

Aos demais, que me ensinaram o valor da vida!!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e pelas vitórias alcançadas;

A minha família pelo apoio e em especial aos meus pais Pedro e Nádia pelo incentivo e apoio;

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia pela oportunidade;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais;

A Coordenação de Aperfeiçoamento a Pessoa de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo;

Ao Laboratório de Propagação de Plantas e Tecnologia Digital - LPPeTD

Ao Dr. Paulo de Tarso Barbosa Sampaio pela orientação

Ao Dr. Newton Paulo de Souza Falcão pela orientação;

A Dra. Suely Costa pela orientação;

Aos técnicos do Laboratório Temático de Solos e Plantas Mozanei Porfirio da Trindade, Jonas Moraes e José Edivaldo Chaves;

Ao Grupo de Pesquisa Terra Preta Nova da Amazônia Central (GPTPN);

A minha namorada Rayana Fernandes e aos meus amigos: Terena Vidal, Diego Pinto, Suelen Scop;

A todos que contribuíram de alguma forma na realização deste trabalho.

RESUMO

Os solos da Amazonia caracterizam-se pela acidez e baixa disponibilidade de nutrientes, limitando as atividades agrícolas e florestais. Estudos indicam que a aplicação de biocarvão associado a fertilizantes minerais e orgânicos contribuiu para o estabelecimento de plantios em áreas degradadas por ações humanas. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito do biocarvão e doses de fertilizante nitrogenado (ureia) nas mudanças da fertilidade do solo, produção de biomassa e estado nutricional em mudas de *Aniba rosaeodora* Ducke. O experimento foi conduzido em casa de vegetação durante 150 dias. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial (2x5), sendo dois níveis de biocarvão (0 e 20 t ha⁻¹) e cinco doses de N em forma de ureia (0; 25; 50; 100 e 200 kg ha⁻¹) com 12 repetições, totalizando 10 tratamentos e 120 unidades amostrais. Utilizou-se como fonte de biocarvão ouriço de castanheira-do-brasil pirolisado à 500°C. O substrato utilizado foi Latossolo amarelo distrófico, coletado na camada sub-superficial (0-20 cm). Foram avaliados os atributos e nutrientes do solo, crescimento em altura, diâmetro, número de folhas, relação altura/diâmetro, relação raiz/parte área, massa seca total (MST), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte área (MSPA), Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e estado nutricional das plantas de pau-rosa. Os resultados obtidos, nos permite inferir que, a interação entre BC e N aumentou os valores de pH, soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e reduziu o teor de Al³ e saturação por Al (m%), aumentando também os teores Ca trocável no solo. Os teores de N, K, Ca, Mg, Fe, Zn e Mn aumentaram com a aplicação do biocarvão afetando os valores da CTC's no solo. A interação entre BC e N não afetou o crescimento, exceto para o número de folhas (NF). A avaliação isolada desses fatores, principalmente o biocarvão, promoveu maior desenvolvimento da planta no ganho de peso da matéria seca e diâmetro do colo. As doses crescentes de N aumentaram apenas os valores da altura das mudas. O índice de qualidade de Dickson não mostrou significância entre os tratamentos, porém, os valores ficaram acima de 1, enfatizado os benefícios do uso do biocarvão e a fertilização nitrogenada. Para a produção de mudas de pau-rosa, nenhuma dose de N foi apontada como ideal. As concentrações foliares de K, Ca, Mg e Mn tiveram aumentos com a interação ente BC e N. Os parâmetros do solo e os dados biométricos das plantas aumentam nos intervalos de 0 a 100 kg ha⁻¹ de N.

Palavras-chave: Nutrientes, Amazônia, Biomassa, Crescimento, Parâmetros.

ABSTRACT

The availability of nutrients in Amazonian soils limits agricultural and forestry activities due to the characteristics of the soils of the region, which are considered poor and very acidic soils. Such characteristics affect the recovery of degraded areas and commercial plantations of species of economic interest such as rosewood. One of the techniques recently studied to reverse this scenario is the application of biochar associated with mineral and organic fertilizers. The objective of this research was to evaluate the effect of biochar and doses of nitrogen fertilizer (urea) on changes in soil fertility, biomass production and nutritional status in *Aniba rosaeodora* Ducke seedlings. The experiment was conducted in a greenhouse for 150 days. The experimental design was completely randomized (DIC) in a factorial scheme (2x5), with two levels of biochar (0 and 20 t ha⁻¹) and five doses of N in the form of urea (0, 25, 50, 100 and 200 kg ha⁻¹) with 12 replicates, totaling 10 treatments and 120 sample units. A pyrolysed Brazil nut urchin was used as the bioburden source at 500°C. The soil used was dystrophic yellow Latosol, collected in the sub-superficial layer (0-20 cm). Soil attributes and nutrients, height, diameter, number of leaves, height / diameter ratio, root / area ratio, total dry mass (MST), root dry mass (MSPA), Dickson Quality Index (IQD) and nutritional status of rosewood plants. The results obtained allow us to infer that the interaction between BC and N increased the values of pH, sum of bases (SB), saturation by bases (V%) and reduced the Al³ content and saturation by Al (m%), increasing also the exchangeable Ca contents in the soil. The N, K, Ca, Mg, Fe, Zn and Mn contents increased with the application of the biocarbon affecting the CTC values in the soil. The interaction between BC and N did not affect the growth, except for the number of leaves (NF). On the other hand, the isolated evaluation of these factors, mainly the biochar, promoted a greater development of the plant in dry matter weight gain and neck diameter. The increasing doses of N increased only the height values of the seedlings. The quality index of Dickson did not show any significance among the treatments, however, the values were above 1, emphasizing the benefits of the use of biochar and nitrogen fertilization. For the production of rosewood seedlings, no dose of N was indicated as ideal. The foliar concentrations of K, Ca, Mg and Mn increased with interaction between BC and N. In general, the soil and plant parameters increased in the intervals from 0 to 100 kg ha⁻¹ of N.

Key words: Nutrients, Amazon, Biomass, Growth, Parameters.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. A) Terra fina seca ao ar (TFSA), Latossolo amarelo; B) Vasos para transplântio com solo..... | 27 |
| Figura 2. A) Ouriço total, B) Biocarbonizador, C) Biocarvão (Gama, 2019). | 29 |
| Figura 3. Mudanças de pau-rosa na sementeira do viveiro florestal da UFAM..... | 31 |
| Figura 4. A e B) Mudanças para transplântio; C) Tratamentos distribuídos na casa de vegetação. | 32 |
| Figura 5. Mudanças colhidas 150 dias após o transplântio. | 33 |
| Figura 6. Valor do pH (H ₂ O) no solo na ausência (B) e presença de biocarvão (A), independente da dose de N aplicada, aos 150 dias após o transplântio. | 36 |
| Figura 7. Teor de Al trocável no solo na ausência (B) e presença de biocarvão (A), independente da dose de N aplicada, aos 150 dias após o transplântio. | 37 |
| Figura 8. Valores médios de altura (H) em função das doses de N, independente da aplicação de biocarvão, aos 150 dias após o transplântio. | 49 |
| Figura 9. Teor de N foliar em função das doses de N, independente da aplicação de biocarvão, aos 150 dias após o transplântio. | 58 |
| Figura 10. Teor de Fe foliar na ausência e presença de biocarvão, independente da dose de N aplicada, aos 150 dias após o transplântio. | 63 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Características química e física do solo utilizado como substrato para a produção de mudas de pau-rosa, antes adubação. | 29 |
| Tabela 2. Propriedades químicas do biocarvão produzido a partir de ouriços de Castanheira-do-brasil. | 30 |
| Tabela 3. Médias dos valores de acidez potencial ($H + Al^3$) em função da interação de doses de N, na ausência e presença de biocarvão em substrato para produção de mudas de pau-rosa. | 38 |
| Tabela 4. Médias dos valores de Soma de bases (SB) em função da interação de doses de N, na ausência e presença de biocarvão em substrato para produção de mudas de pau-rosa. | 39 |
| Tabela 5. Médias dos valores d CTC efetiva (t) e CTC potencial (T) em função da ausência e presença de aplicação de biocarvão em substrato para produção de mudas de pau-rosa. | 40 |
| Tabela 6. Médias dos valores de Saturação de bases (V%) e Saturação por alumínio (m%) em função da interação de doses de N, na ausência e presença de biocarvão em substrato para produção de mudas de pau-rosa. | 42 |
| Tabela 7. Médias dos valores de Nitrogênio (N), Potássio (K), Magnésio (Mg) e Manganês (Mn) em função da ausência e presença de biocarvão em substrato para produção de mudas de pau-rosa. | 43 |
| Tabela 8. Médias dos valores de Cálcio trocável (Ca) em função da interação de doses de N, na ausência e presença de biocarvão em solo para produção de mudas de pau-rosa. | 45 |
| Tabela 9. Correlação de Pearson entre as doses de biocarvão (BC) e atributos químicos do solo após do experimento para produção de mudas de pau-rosa. | 47 |
| Tabela 10. Médias dos valores de Diâmetro do coleto (DC), Massa seca da parte aérea (MSPA), Massa seca raiz (MSR) e Massa Seca total (MST) em função da ausência e presença de biocarvão em substrato para produção de mudas de pau-rosa. | 51 |
| Tabela 11. Médias dos valores de Cálcio trocável (Ca) em função da interação de doses de N, na ausência e presença de biocarvão em solo para produção de mudas de pau-rosa. | 51 |
| Tabela 12. Correlação de Pearson entre atributos químicos do solo e parâmetros de crescimento do experimento para produção de mudas de pau-rosa. | 55 |
| Tabela 13. Correlação de Pearson entre nutrientes do solo e parâmetros de crescimento do experimento para produção de mudas de pau-rosa. | 56 |

| | |
|---|----|
| Tabela 14. Médias dos valores de Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K) e Manganês (Mn) em função da interação de doses de N, na ausência e presença de biocarvão em solo para produção de mudas de pau-rosa..... | 60 |
| Tabela 15. Correlação de Pearson entre nutrientes do solo e nutrientes foliares do experimento para produção de mudas de pau-rosa. | 65 |
| Tabela 16. Correlação de Pearson entre nutrientes foliares e parâmetros de crescimento do experimento para produção de mudas de pau-rosa. | 66 |

SUMÁRIO

| | |
|---|--------------------------------------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2. OBJETIVOS..... | 15 |
| 2.1 Geral..... | 15 |
| 2.2 Específicos..... | Erro! Indicador não definido. |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA..... | 16 |
| 3.1 Pau-rosa (Aniba rosaeodora Ducke.)..... | 16 |
| 3.2 Exigência nutricional das espécies florestais..... | 17 |
| 3.3 Nitrogênio | 20 |
| 3.3.1 Adubação nitrogenada | 20 |
| 3.4 Biocarvão | 22 |
| 3.4.1 Biocarvão como substrato para produção de mudas florestais | 23 |
| 3.4.2 Biocarvão e o nitrogênio..... | 25 |
| 3.5 Crescimento vegetal | 25 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 26 |
| 3.1 Local do estudo..... | 26 |
| 3.2 Coleta e Análise do solo | 26 |
| 3.3 Biocarvão | 29 |
| 3.4 Delineamento experimental e tratamentos | 30 |
| 3.5 Instalação e condução do experimento | 31 |
| 3.6 Coleta dos dados de crescimento das plantas | 32 |
| 3.8 Determinação de nutrientes em folhas..... | 34 |
| 3.9 Análise de dados | 35 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 35 |
| 4.1 Atributos do solo..... | 35 |
| 4.1.1 Efeito dos tratamentos no pH (H ₂ O), a Acidez trocável (Al ³) e Acidez potencial (H + Al ³). | 35 |
| 4.1.2 Efeito dos tratamentos na Soma de bases (SB), Capacidade de troca de cátions efetiva (t), Capacidade de troca de cátion potencial (T). | 38 |
| 4.1.3 Efeito dos tratamentos na saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%). | 40 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1.4 Efeito dos tratamentos nos teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Fe, Zn e Mn) no solo. | 42 |
| 4.1.5 Efeito dos tratamentos nos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg)..... | 42 |
| 4.1.6 Efeito dos tratamentos nos teores de micronutrientes (Fe, Zn e Mn) no solo. | 45 |
| 4.2 Parâmetros biométricos e produção de biomassa seca | 48 |
| 4.2.2 Efeitos dos tratamentos sobre produção de biomassa seca..... | 52 |
| 4.3 Estado nutricional | 57 |
| 4.3.1 Efeito dos tratamentos na concentração de macronutrientes na planta (N, K, Ca, Mg) .. | 57 |
| 4.3.2 Efeito dos tratamentos na concentração de micronutrientes na planta (Fe e Mn). | 62 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 67 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 68 |
| ANEXO 1. Resumo da análise de variância dos atributos do solo. | 89 |
| ANEXO 2. Resumo da análise de variância dos nutrientes do solo. | 90 |
| ANEXO 3. Resumo da análise de variância dos parâmetros de crescimento..... | 91 |
| ANEXO 4. Resumo da análise de variância dos nutrientes na planta. | 92 |

1. INTRODUÇÃO

O pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke), pertencente à família Lauraceae, é uma espécie florestal, cujo valor econômico está no óleo essencial produzido por folhas, galhos e madeira. Durante décadas esta espécie foi explorada para a extração do linalol, constituinte majoritário do óleo (80-90%) (Maia *et al.*, 2007; Chantraine *et al.*, 2009; Fidelis *et al.*, 2012), produto valorizado no mercado nacional e internacional. A exploração desta espécie ao longo do tempo seguiu o modelo extrativista de exploração predatória clássica, onde o maior lucro em um menor tempo foi o único propósito dos empreendedores extrativistas e do mercado internacional. Este tipo de extrativismo ocasionou o corte indiscriminado tanto de plantas jovens quanto adultas, impossibilitando a regeneração natural e a recomposição das populações. Os princípios de sustentabilidade nunca foram considerados e a drástica redução das populações naturais levou a espécie ao *status* de ameaçada de extinção, sendo colocada na lista da CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora).

A legislação vigente estabelece os parâmetros para o manejo das populações naturais remanescentes e estimulam os plantios *ex situ* dessa espécie. Acredita-se que a mudança do sistema de extrativismo praticado nas populações naturais, para plantios comerciais, irá promover grandes transformações na cadeia produtiva do pau-rosa na região, culminando no uso eficiente e sustentável de recursos renováveis. Isso possibilitara a disponibilização de maiores volumes de produtos de origem certificada, dinamizando a economia e contribuindo para melhorar a condição econômica e social das comunidades rurais.

Apesar da grande importância econômica da espécie, pouco se sabe sobre as exigências nutricionais para o estabelecimento de plantios *ex situ* (Krainovic *et al.*, 2017). No entanto, sabe-se, que o pau-rosa ocorre principalmente em solos de terra firme, como Latossolos e Argilosos Vermelhos e Amarelos distróficos (Macêdo e Rodrigues, 2000; Sampaio *et al.*, 2003). O que sugere um baixo requerimento nutricional, pois trata-se de solos com baixa fertilidade (Vieira e Santos, 1987), fato que pode comprometer a sobrevivência e o crescimento das mudas em sistemas de plantios (Tiecher *et al.*, 2012). Pois, são solos com altos níveis de acidez, baixo conteúdo de fósforo, baixos níveis de troca de cátions e altos níveis de toxicidade de alumínio limitam o crescimento de espécies florestais (Quesada *et al.*, 2010; Ferreira *et al.*, 2015).

Estudos demonstram que mudas de *A. rosaeodora* em condições de viveiro apresentaram reduzido crescimento quando cultivadas em condições de baixa disponibilidade nitrogênio (N), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (Valencia *et al.*, 2010). O estado nutricional de uma planta altera a sua taxa de desenvolvimento, a intensidade de crescimento e características morfológicas nas plantas (Epster e Blomm, 2006). A necessidade de desenvolver tecnologias que restabeleçam o componente arbóreo em áreas degradadas e desenvolvimento de plantios em solos pobres, deve ser prioridade de pesquisas, visando reincorporar aos processos produtivos as extensas áreas desmatadas na Amazônia (Souza *et al.*, 2004; Bernardino *et al.*, 2005; Cunha *et al.*, 2005).

Dentre os produtos recentemente propostos para esse fim, destaca-se o biocarvão (Lehmann *et al.*, 2003; Kloss *et al.*, 2014), biomassa carbonizada baseada nas Terras Pretas de Índio (TPI's) (Lehmann e Joseph, 2015) capaz de, entre outros benefícios, agir como condicionante para substratos, diminuir a saturação por alumínio, elevar o pH do solo e a retenção de nutrientes (Novotny *et al.*, 2009; Beesley *et al.*, 2010).

O manejo de áreas de baixa fertilidade na Amazônia visando a recomposição florestal utilizando o biocarvão como parte do substrato pode contribuir para maior crescimento e sobrevivência de mudas em plantios (Souchie *et al.*, 2011; Ferreira *et al.*, 2015). Os parâmetros de crescimento como altura, massa seca, diâmetro do coleto e número de folhas, podem ser agregados em um único valor através do Índice de Qualidade de Dickson (IQD), que tem por finalidade aumentar a segurança na seleção das plantas mais vigorosas, com maior taxa de sobrevivência quando transplantadas para o campo (Felfili *et al.*, 1999; Salgado *et al.*, 2001; Marimon-Junior *et al.*, 2012, Silva *et al.*, 2012).

Estudos indicam que a melhoria da fertilidade no solo e desenvolvimento vegetal, proporcionados pelo biocarvão, são maiores quando o produto é combinado, com solo fértil ou com adição de fertilizantes (Steiner *et al.*, 2007; Petter *et al.*, 2012; Lima *et al.*, 2015). O uso do biocarvão em associação com fertilizantes minerais, dentre eles o nitrogênio (N), tem revelado resultados favoráveis para o crescimento de mudas de espécies florestais (Cardoso *et al.*, 2016; Lima *et al.*, 2016).

O nitrogênio (N) é o macronutriente presente em maior abundância na planta, fazendo parte da sua estrutura, participando de processos de crescimento das plantas, fotossíntese e respiração (Baesso *et al.*, 2005; Malavolta, 2006). As plantas, de modo geral, respondem bem ao nitrogênio, com efeitos bem visíveis, vegetação verde abundante ou folhas com coloração

verde-pálida quando deficientes, uma vez que este macronutriente é altamente móvel na planta, sendo redirecionados para os tecidos mais jovens (Whatley e Whatley, 1982; Malézieux 2003; Bartholomew, 2003). Porém, o excesso de N pode ser prejudicial, sendo assim, a dose deste elemento, fornecida à cultura, deve ser bem equilibrada em relação a quantidade de outro elemento de que a planta necessite, principalmente, fósforo e potássio (Oliveira e Calda, 2004).

Estudos indicam que o crescimento inicial em altura e diâmetro de espécies florestais é limitado pela omissão de macronutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e enxofre (S) afetando a massa seca na final das plantas (Vieira, 2011). Souza (2010) verificou as exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.), e concluiu que o fósforo (P) é o que mais limita o crescimento de plantas de mogno, bem como a absorção dos outros nutrientes. Cardoso *et al.* (2016) verificaram as respostas nutricionais de mudas de sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.), e concluiu que o crescimento das plantas de sumaúma é pouco influenciado pelas doses crescentes de N e P, sugerindo que a espécie possui baixa exigência nutricional na fase inicial de crescimento.

Tendo em vista a importância econômica da espécie, o uso do biocarvão como condicionador do solo e a adubação nitrogenada, o presente trabalho tem por objetivo investigar o efeito desses fatores nas mudanças de fertilidade do solo, no crescimento e estado nutricional em mudas de pau-rosa produzidas em Latossolo da Amazônia central durante 150 dias.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Investigar se a aplicação de biocarvão e fertilização nitrogenada afetam as propriedades do solo, crescimento e nutrição de mudas de *Aniba rosaeodora* Ducke.

2.2 Específicos

- i) Investigar se a aplicação do biocarvão em associação com doses crescentes de fertilização nitrogenada alteram as propriedades químicas do substrato usado no cultivo das mudas pau-rosa;
- ii) Analisar o desenvolvimento de mudas de *Aniba rosaeodora* em parâmetros de crescimento e partição de matéria seca sob influência da aplicação de biocarvão e doses de fertilização nitrogenada;
- iii) Verificar as condições do estado nutricional de mudas de *Aniba rosaeodora* na presença e ausência de biocarvão em diferentes doses de nitrogênio.

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 Pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke.)

O pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) pertence à família Lauraceae, é uma espécie arbórea que pode atingir 30 m de altura e 2 m de diâmetro aproximadamente. Seu tronco é retilíneo e ramificado no ápice, formando uma copa pequena (Lorenzi, 2002). A casca é parda-amarelada ou pardo-avermelhada, que se desprende em grandes placas. As folhas possuem em média 14 cm de comprimento por 5 cm de largura. As flores são amarelo-ferruginosas, hermafroditas e diminutas. O fruto é uma baga glabra, elipsoide ou subglobosa, com exocarpo fino e polpa carnosa de coloração amarelo-esverdeada; contém uma semente ovoide, de cor marrom clara com estrias longitudinais marrom-escuras (Lorenzi, 2002; Ohashi e Rosa, 2004; Silva *et al.*, 2010).

As sementes de pau-rosa são recalcitrantes e não apresentam dormência, entretanto, são severamente predadas na floresta, principalmente, por pássaros, roedores e insetos, fato que dificulta a obtenção de sementes viáveis para produção de mudas (Rosa *et al.*, 1999; Sampaio *et al.*, 2003). A espécie pode ser propagada via sementes ou assexuadamente, por meio de estaquia (Vieira, 1972; Rosa *et al.*, 1999). A produção de mudas feita por semeadura, pode ser realizada diretamente em sacos plásticos individuais ou em sementeiras para posterior repicagem (Rosa *et al.*, 1999).

O pau-rosa é uma espécie que não exige substrato específico, porém, o desenvolvimento das mudas em viveiro é favorecido quando as sementes são colocadas em substrato organo-arenoso, aliado a um sombreamento de aproximadamente 50%, pois nestas condições, são simulados sítios preferenciais de regeneração natural (Rosa *et al.*, 1997; Marques *et al.*, 1999).

No Brasil, ocorre desde o estado do Amapá no nordeste amazônico, seguindo as duas margens do Rio Amazonas até o Peru (SUDAM, 1972); como também desde a região centro-sul do estado do Pará até a bacia do Rio Purus no sul do estado do Amazonas (Ducke, 1938; Mitja e Lescure, 1996). A espécie pode ser encontrada tanto em floresta de terra firme úmida como também em área de campinarana, presente nas regiões norte e central da Amazônia (Kubitzki e Renner, 1982).

O pau-rosa tem como principal importância econômica, a extração do óleo volátil, rico em linalol, uma substância utilizada na indústria de cosméticos, especialmente como fixadora na produção de perfumes (Marques, 2001). O comércio do óleo dessa espécie chegou a

ocupar o terceiro lugar na pauta de exportação da região Amazônica, sendo os principais produtores dessa essência os estados do Amazonas e Pará (May e Barata, 2004).

A exploração do pau-rosa começou em 1925, inicialmente no Pará e depois no Amazonas, chegando a produzir 200 toneladas no ano de 1927, não havendo mercado para absorver o volume produzido (May e Barata, 2004). A preocupação com a exploração predatória já era manifestada em 1933, apenas alguns anos após o início da extração do óleo, que teve seu pico de produção nos anos 60, quando cerca de 500 toneladas anuais foram exportadas (Bizzo *et al.*, 2009).

O IBAMA através da portaria nº 37-N de 3 de abril de 1992 (IBAMA, 1992), incluiu o pau-rosa na lista das espécies ameaçadas de extinção (Leite *et al.*, 2001). O pau-rosa também foi incluído no ano de 2010 na lista de espécies de comércio controlado, aprovada na 15ª Reunião da Convenção sobre o Comércio Internacional de Espécies da Flora e Fauna Selvagens Ameaçadas de Extinção (CITES, 2010). De acordo com o Decreto Nº 3.607, de 21 de setembro de 2000 (BRASIL, 2000), as espécies integrantes do anexo II da CITES estarão em perigo de extinção caso o comércio de espécimes não esteja sujeito à regulamentação rigorosa, além disso, a partir deste decreto, a comercialização só pode ser autorizada mediante a concessão de licença ou emissão de Certificado pela Autoridade Administrativa (IBAMA).

Tanto o Ibama como os produtores reconhecem que o estado atual da exploração do pau-rosa levará à extinção da atividade extrativista na região (Amazonas, 2012).

3.2 Exigência nutricional das espécies florestais

Em projetos de reflorestamento e florestamento, a produção de mudas de espécies nativas com boas condições para sobreviver as diversidades do campo, e com poucas perdas no pós-plantio é um desafio enorme para pesquisadores e agricultores, principalmente na fase de crescimento inicial, que é a mais crítica para a sobrevivência de espécies florestais (Carneiro, 1995; Pinto *et al.*, 2011).

Portanto, a fase que precede o plantio em campo, ou seja, fase de produção de mudas torna-se a mais importante, pois deve prover mudas de qualidades, com características que possam oferecer resistência às condições adversas que poderão acontecer posteriormente, como clima e solo (Pinto *et al.*, 2011). Em conjunto com as características das mudas é essencial conhecer as exigências nutricionais das espécies florestais, para que se tenha sucesso

em campo, mas não é o que acontece, pois há poucas informações sobre as exigências nutricionais dessas espécies (Marques *et al.*, 2006).

Os conhecimentos sobre as exigências das espécies arbóreas nativas por nutrientes variam entre espécies, clima e crescimento, portanto, esses fatores são mais intensos na fase inicial do crescimento das plantas (Duboc, 2006). As exigências nutricionais variam, fazendo com que um mesmo nível de nutrientes seja limitante para uma espécie e não seja para outra (Simões *et al.*, 1974). Compreender as exigências nutricionais em espécies florestais possibilita identificar as deficiências e fazer correções, evitando, dessa maneira, técnicas incorretas, e perdas de material vegetal (Sarcinelli *et al.*, 2004).

Nesse sentido, é extremamente necessário 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 serão cultivadas (Paula, 2014). Danos oriundos devido à falta de conhecimento sobre a deficiência nutricional, causam implicações na planta que vão desde o atraso do crescimento até a diminuição da produtividade, sendo que em alguns casos, pode levar a morte da planta (Silva, 2015).

Na silvicultura, a nutrição por meio de adubação dos substratos é um dos principais responsáveis pelo alcance de maior produtividade nos viveiros e na qualidade das mudas (Souza *et al.*, 2006). De acordo com Schumacher *et al.* (2013), o percentual de adubo a ser aplicado em uma espécie vai depender da sua necessidade nutricional, da fertilidade do solo, da forma de reação dos adubos com o solo, da eficiência dos adubos, e de fatores de ordem econômica.

A produtividade de uma espécie arbórea com enorme potencial de crescimento pode ser restringida pela ausência de alguns nutrientes no solo, por isso, faz-se necessário, identificar e estudar os macronutrientes mais demandados pelas espécies nativas em sua fase de muda e, posteriormente, formular adubos em quantidades adequadas, diminuir o tempo das mesmas em viveiro, garantir o a sobrevivência em condições de campo (Vieira, 2011).

Renó *et al.* (1997), avaliando os requerimentos e limitações nutricionais de mudas florestais, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, 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 (*Caesalpineia ferrea*) e jacaré (*Piptadenia gonoacantha*), em 67, 17, 82 e 8 vezes, respectivamente, em relação ao

tratamento testemunha. A omissão de N, P ou S resultou em grande redução no crescimento das espécies estudadas, evidenciando suas exigências e as limitações do solo em fornecer tais nutrientes.

Marques *et al.* (2004), verificaram que em solução nutritiva as mudas de paricá (*Schizolobium amazonicum*, Herb.), apresentaram decréscimos nos teores de nutrientes devido as suas respectivas omissões e apresentaram sintomas visuais de deficiência, quando o nível exigido pela planta para o seu crescimento vegetal ficou abaixo do considerado suficiente. Estes autores ainda relatam que em virtude do rápido crescimento, o fornecimento de N torna-se crítico ao desenvolvimento inicial da espécie e que os nutrientes Mg, S e Cu foram os menos limitantes ao seu crescimento.

Entretanto, Farias *et al.* (2010) conduzindo experimento com mudas de jacarandá-dabáhia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr.All. ex Benth.), num Latossolo Vermelho Amarelo, verificaram que em tratamento com omissão de N obtêm-se positiva influência nas características morfológicas analisadas, que por se tratar de uma leguminosa pode ter sido beneficiada pela associação com microrganismos. Locatelli *et al.* (2007), em solução nutritiva, com mudas de cedro rosa (*Cedrela odorata* L.), também verificaram maior exigência por P, enquanto que a omissão do N foi a que menos afetou o desenvolvimento da planta em diâmetro. Portanto, assim como o N, o P tem sido um nutriente muito importante para mudas florestais (Ducob *et al.*, 1996; Mendonça *et al.*, 1999; Nicoloso *et al.*, 1999; Benedetti *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2010), e muito limitante ao seu crescimento (Furtini Neto *et al.*, 2000).

Como verificado até aqui, as espécies florestais apresentam requerimentos nutricionais distintos, comumente tendo os nutrientes P e N como os mais limitantes ao crescimento das plantas, enquanto que a exigência pelos demais variam bastante entre as espécies. Outro aspecto a ser considerado em trabalhos avaliando as exigências nutricionais de espécies florestais é o uso da calagem. Benedetti *et al.* (2009). Souza *et al.* (2010), em mudas de mogno (*Swietenia macrophylla*), observaram que os parâmetros biométricos e produção de biomassa, foram afetados pela omissão de calagem, assim como a calagem aplicada de forma isolada, apresentando neste caso comportamento igual ao do tratamento testemunha, assim como a omissão de P e Ca.

3.3 Nitrogênio

O nitrogênio (N) é um macronutriente essencial para o crescimento e produção das plantas, é constituinte de moléculas, proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas e ATP (Xu *et al.*, 2012; O'Brien *et al.*, 2016). De todos os nutrientes, o nitrogênio é o que se encontra em maiores concentrações nos vegetais superiores (Blevins, 1989), tornando-o elemento requerido em maior quantidade pelas plantas, seguido em ordem decrescente por potássio e cálcio (Cunha e Haag, 1980). Porém, devido à multiplicidade de suas reações, o N é o elemento que apresenta maiores dificuldades de manejo na produção agrícola e florestal mesmo em propriedades tecnicamente orientadas (Oliveira e Calda, 2004). As formas preferenciais de absorção de N pelas plantas são a amônia (NH_4^+) e o nitrato (NO_3^-), que tem como principais funções: auxiliar no desenvolvimento radicular, aumentar a eficiência e absorção de potássio, além da importância no processo de fotossíntese (Oliveira e Calda, 2004; Baesso *et al.*, 2005).

Em solos com baixa capacidade de retenção de nutrientes, as chuvas tropicais lixiviam facilmente os nutrientes minerais disponíveis e móveis, limitando a eficiência dos fertilizantes convencionais (Noguera *et al.*, 2012). Sendo o N o mais utilizado, mais absorvido e o mais exportado pelas culturas, torna-se o nutriente de obtenção mais cara, pois é o mais lixiviado nos solos, requerendo cuidados especiais em seu manejo pelos riscos de contaminação do lençol freático (Hirel *et al.*, 2011; Dempster, 2013). As formas de nitrogênio presentes no solo são fortemente influenciadas pela biota do solo, controlando os processos de mineralização e imobilização no sistema solo-planta (Cantarella, 2007).

3.3.1 Adubação nitrogenada

Os fertilizantes minerais são substâncias de fontes minerais, que tem como função disponibilizar nutrientes na solução do solo para favorecer e promover o crescimento das plantas (Xu *et al.*, 2012). Cada nutriente atua em uma ou mais partes da planta, assim suas atividades são complementares (Galloway *et al.*, 2004; Cantarella, 2007). As plantas, de modo geral, respondem bem a adubação nitrogenada, o efeito externo do nitrogênio mais visível é a vegetação verde e abundante. Porém, o excesso de N é prejudicial, sendo assim, a dose deste elemento fornecida à cultura, deve ser bem equilibrada em relação a quantidade do outro

elemento de que a planta necessita, principalmente, fósforo e potássio (Oliveira e Calda, 2004).

O uso e aplicação de fertilizantes nitrogenados aos solos é para fornecer nutrientes de alta solubilidade para as plantas cuja função é aumentar ou manter a produtividade (Oliveira e Calda, 2004). Esse aspecto ressalta a importância de conhecer o comportamento da espécie com adubação nitrogenada, uma vez que o N está envolvido na regulação do potássio, do fósforo e de outros nutrientes que podem incrementar seu crescimento (Brady e Weil, 2002).

Parte da quantidade de N demandado pelas culturas pode ser suprida pelo solo, no entanto, em muitas situações o solo é incapaz de atender toda a demanda por N, tornando-se necessária a fertilização nitrogenada, uma vez que o N não possui fontes em rochas a exemplo do potássio (Amado *et al.*, 2002; O'Brien *et al.*, 2016).

Para Morin (1967), é imprescindível a aplicação de fertilizantes minerais durante os estádios iniciais de crescimento e desenvolvimento da planta, pois a planta jovem pode apresentar redução do crescimento, por qualquer deficiência nutricional, de modo que as aplicações subsequentes não têm o mesmo efeito que o verificado em plantas adubadas apropriadamente desde o início de sua formação.

Marschner (1997) afirma que o nitrogênio é um nutriente que limita o crescimento e o desenvolvimento do vegetal, afetando diretamente o crescimento vegetativo da planta, possibilitando assim que a mesma não expresse todo o seu potencial. Seu aproveitamento no sistema solo-planta dá-se por meio de três mecanismos, a saber, deposição atmosférica, fixação biológica e adubações química ou orgânica (Galloway *et al.*, 2004). Seu mecanismo de saída do sistema ocorre por meio da exportação de cultura, lixiviação, volatilização, desnitrificação e erosão (Cantarella, 2007).

O N encontra-se no solo na forma orgânica (98%) e mineral (2% e 5%) (Naz *et al.*, 2016), de modo que cerca de 70% da forma pelas quais as plantas absorvem nitrogênio são íons N-NH_3^- e N-NH_4^+ (Caicedo *et al.*, 2000). Nos solos ácidos tropicais como da Amazônia o NH_4^+ é a forma predominante (Santiago *et al.*, 2013), pelo fato da forma N-NH_3^- ser facilmente lixiviado, talvez devido as cargas negativas predominantes nestes solos.

As fontes de N mais utilizadas são: a ureia (45% de N), sulfato de amônio (21% de N e 23% de enxofre - S), nitrato de potássio (13% de N e 44% de K_2O), fosfato monoamônico ou MAP (10% de N e 46 a 50% de P_2O_5) e fosfato diamônico ou DAP (16% de N e 38 a 40% de P_2O_5).

Os principais problemas enfrentados pelo uso de fertilizantes para aumentar o crescimento das mudas, são a escolha adequada do fertilizante e a quantidade a ser utilizada, o que leva a um entendimento mais profundo sobre a capacidade das espécies absorverem e utilizarem nutrientes minerais do solo, antes que os fertilizantes possam ser usados (Phares, 1964).

De acordo com Chapin e Bielecki (1982) espécies cultivadas em solos de baixa fertilidade geralmente exibem pequena taxa de crescimento, taxas de absorção de nutrientes moderadas e alta concentração de nutrientes nos tecidos, em comparação a espécies de rápido crescimento sob as mesmas condições. Por outro lado, Sorreano (2006) salienta que as mudas de espécies nativas clímax como jatobá (*Hymenaea courbaril*) e castanheira-do-brasil, tendem a não responder a adubação no primeiro momento muito em função da menor taxa de crescimento e alta reserva de energia e fotoassimilados contido nos órgãos de reservas.

No geral, principalmente na fase de mudas, tem-se observado respostas variadas para diferentes tipos de fertilização em espécies nativas (Luz *et al.*, 2006; da Silva *et al.*, 2008; de Oliveira *et al.*, 2011).

3.4 Biocarvão

Biocarvão é um material sólido rico em carbono pirogênico (Lehmann, 2007). É obtido a partir da conversão termoquímica de material orgânico de origem animal ou vegetal, com suprimento limitado de oxigênio (O₂) e temperaturas relativamente baixas (<700°C) (Lehmann e Joseph, 2015). De modo geral, a queima da biomassa varia com a finalidade do subproduto, no entanto, na produção do biocarvão a faixa de 450-550 °C é considerada ideal (Lehmann, 2007).

Na biocarbonização, as ligações carbono-carbono (C-C) do material são quebradas, formando cadeias de anéis aromáticos com ligações carbono-oxigênio (C-O) e carbono-hidrogênio (C-H) (Lehmann e Joseph, 2009). Por apresentar estrutura aromática formada por ácidos carboxílicos e fenólicos, o biocarvão é química e biologicamente mais estável que a matéria orgânica (Lehmann e Joseph, 2015). A oxidação do carbono dá origem aos grupos funcionais com superfícies reativas, fornecendo cargas ao biocarvão (Glaser *et al.*, 2003). As características químicas e físicas finais do biocarvão dependem intrinsecamente do tipo de matéria-prima utilizada, da temperatura e do tempo de pirólise (Cruz, 2015).

Os mecanismos pelos quais o biocarvão promove a adsorção e dessorção das espécies químicas ainda não foram elucidados (Zheng *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2017;) principalmente para o N (Tan *et al.*, 2018).

O biocarvão pode ser usado como condicionador físico, químico e biológico do solo (Jones *et al.*, 2012; Ippolito *et al.*, 2015). E isto indica que podem contribuir para a recuperação de áreas degradadas, aumentando a eficiência agrônômica e florestal dos fertilizantes utilizados (Xu *et al.*, 2013; Morales *et al.*, 2013; Agegnehu *et al.*, 2017), diminuindo a perda de fertilizantes nitrogenados e potássicos mais solúveis, controlando a lixiviação de metais pesados para o lençol freático, etc. (Lehmann e Joseph, 2015).

Fisicamente, a liberação de compostos voláteis do biocarvão origina micro (< 2nm), meso (2-50nm) e macroporos (>50nm) (Novotny *et al.*, 2009), que contribuem com a elevação da área superficial e, conseqüentemente, o aumento do armazenamento de água (Karhu *et al.*, 2011; Gonçalves *et al.*, 2012) e a estruturação do solo (Nóbrega, 2011). Quimicamente, a presença do biocarvão aumenta os teores de matéria orgânica do solo (Novak *et al.*, 2009) e pode elevar o teor de alguns nutrientes no solo (Graber *et al.*, 2010), assim como elevar o pH, reduzir a atividade do alumínio (Anderson *et al.*, 2011), e a retenção de nutrientes (Karhu *et al.*, 2011).

3.4.1 Biocarvão como substrato para produção de mudas florestais

A produção de mudas, para fins florestais ou para recuperação de áreas, é a principal etapa para o sucesso dessas atividades, assim, um bom substrato torna-se fundamental para obtenção de mudas de qualidade (Cavalcante *et al.*, 2011). A composição do substrato deve ser uniforme, com baixa densidade, que apresente elevada retenção de água e CTC, boa aeração e drenagem e que reduzam o uso de insumos, a fim de proporcionar condições favoráveis para o desenvolvimento das mudas (Terra *et al.*, 2011). Dentre os produtos recentemente estudados, destaca-se o uso biocarvão como substrato para produção de mudas (Souchie *et al.*, 2011; Petter *et al.*, 2012; Lima *et al.*, 2016), por apresentar características físicas e químicas consideradas ideais para esses fins (Lehmann *et al.*, 2003).

O uso sustentável do biocarvão deve considerar a caracterização do material e do local de aplicação, como as propriedades físico-químicas do solo, além da gestão da terra, como o tipo de espécie cultivada, de forma que se tenham respostas sobre compatibilidade e complementaridade entre esses fatores (Verheijen *et al.*, 2012). Assim, estudos com espécies

nativas e com solos oriundos de áreas naturais, com características de baixa fertilidade, são essenciais para promover informações que viabilizem o uso do biocarvão para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e silviculturais (Lehmann, 2007)

Entre os benefícios do seu uso estão o aumento da CTC, o aumento da retenção de nutrientes (Benites *et al.*, 2005; Novotny *et al.*, 2009), além de aumentar a porosidade, aeração e retenção de água no substrato (Zanetti *et al.*, 2003). Discute-se, ainda, que a melhoria da fertilidade do solo e do desenvolvimento vegetal, proporcionados pelo biocarvão, são maiores quando o produto é combinado com solo fértil ou com adição de fertilizantes (Steiner *et al.*, 2007; Petter *et al.*, 2012; Lima *et al.*, 2015).

O potencial do biocarvão como fonte de alguns nutrientes varia conforme as características químicas do material (Mukome *et al.*, 2013). Assim, o uso isolado do biocarvão com características de baixa disponibilidade de nutrientes, pode ser ineficiente para o desenvolvimento vegetal conforme as condições de solo onde é aplicado (Lima *et al.*, 2015; Lima *et al.*, 2016). Com isso os substratos, devem apresentar boa aeração, que permitam a difusão de oxigênio para as raízes, e boa estrutura, além de teores adequados de nutrientes que favoreçam o desenvolvimento inicial das plântulas (Lima *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2009). Neste contexto, o biocarvão tem revelado potencial como condicionador de substrato para melhorar sua qualidade e a qualidade das mudas.

Alguns estudos como os de Zanetti *et al.* (2003); Mendonça *et al.* (2003); Arruda *et al.* (2007), têm mostrado a eficácia do uso do biocarvão na agricultura, principalmente por sua característica em diminuir a lixiviação dos nutrientes e de água no solo (Lehmann, 2007; Lehmann e Joseph, 2009), o que garante maior eficiência de uso dos nutrientes pelas plantas, aumentando a qualidade e desenvolvimento das mudas, permitindo a redução dos gastos com adubações químicas (Lehmann e Joseph, 2009).

Souchie *et al.* (2011), avaliaram o uso do biocarvão de *Eucalyptus* sp., como condicionante de substrato na produção de mudas da espécie florestal *Tachigali vulgaris*. Os autores encontraram que a altura, o diâmetro de coleto e a massa seca das mudas de *T. vulgaris* aumentaram proporcionalmente com as concentrações de carvão vegetal ao substrato e seu efeito foi significativo a partir de 12,5% de concentração, contribuindo assim para a obtenção de mudas mais desenvolvidas e de qualidade.

Ao avaliar o uso de doses de biocarvão como parte do substrato (0%, 10%, 30%, 50% e 70%) associado com NPK, Nunes (2010) observou acréscimos em altura e produção de

matéria seca em mudas de Castanheira-do-Brasil nas doses de 30 e 50%, favorecendo ainda o aumento da macroporosidade, do pH e dos teores de P disponível em solo argiloso.

3.4.2 Biocarvão e o nitrogênio

Considerando que o biocarvão apresenta uma elevada área superficial específica e predominância de cargas negativas de superfície, o nitrogênio, tanto na forma amoniacal (NH_4^+) como na nítrica (NO_3^-) podem ser adsorvidos pelo biocarvão, reduzindo suas perdas por meio da lixiviação (Clough e Condron, 2010; Dil, 2011; Clough *et al.*, 2013; Dempster, 2013; Nguyen *et al.*, 2017). Por outro lado, a aplicação de biocarvão pode diminuir os custos com o fertilizante e melhorar as características químicas e físicas do solo propiciando um ambiente favorável para o crescimento das raízes (Razaq *et al.*, 2017a; Xiang *et al.*, 2017).

3.5 Crescimento vegetal

O crescimento vegetal ocorre em função do que a planta armazena e do que produz em termos de material estrutural, tanto em relação ao aumento de volume, peso ou de dimensões lineares de unidades estruturais (Useche, 2003). Medidas lineares, superficiais, peso e número de unidades estruturais são os métodos pelos quais se realiza o estudo do crescimento vegetal (Benincasa, 1986, Useche, 2003). As medidas lineares relacionam-se com o estudo da altura da planta, comprimento e diâmetro do caule, as medidas superficiais são relacionadas à determinação ou estimativa da superfície fotossinteticamente ativa (área foliar), e as estruturais são realizadas pela contagem do número de unidades estruturais, morfológicas ou anatômicas (número de folhas) (Useche, 2003).

O desenvolvimento vegetal, caracterizado por mudanças nas estruturas e funções vegetais, e em suas partes durante a formação, o crescimento, maturação e declínio de um indivíduo, é determinado pela multiplicação celular, aumento em volume e diferenciação de órgãos e tecidos (Larcher, 2000). Dessa maneira, define-se como crescimento o aumento permanente da quantidade de substâncias e de volume das partes vivas (Larcher, 2000, Useche, 2003).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do estudo

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA), Coordenação de Investigação em Silvicultura Tropical – INPA/CPST, localizado no Campus III, INPA V8, no município de Manaus-AM. As coordenadas geográficas locais de referência são 3°5'29"S de latitude, 59°59'37" W de longitude e 92 m de altitude. O clima da região local de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Af, com duas estações climáticas bem definidas: uma chuvosa (novembro-junho) e outra seca (julho-outubro). A precipitação média anual é de 2.286 mm, umidade relativa do ar de 80% com variação de temperatura entre 23,3 °C a 31,4 °C, e média anual de 26,7 °C (Alvares *et al.* 2013).

3.2 Coleta e Análise do solo

O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico (Santos *et al.*, 2013). O solo foi coletado em uma área de capoeira, com 30 anos de idade aproximadamente, na Estação Experimental de Fruticultura Tropical - EEFT, do Inpa, km 45, da BR 174. As coordenadas geográficas de referências da EEFT são 02°37'12" S de latitude e 060°02' 27" de longitude W.

A coleta ocorreu na camada sub-superficial (0-20 cm de profundidade), sendo imediatamente colocado em sacos plástico do tipo ráfia e transportado para o campus III do INPA. Após a coleta, o solo foi transformado em terra fina seca ao ar (TFSA), destorroado e passado em peneira de 4,0 mm de abertura. Uma parte foi peneirada em malhas de 2,0 mm para análise quanto aos seus atributos químicos (Tabela 1). O restante do solo foi transportado e acondicionada em 120 vasos plásticos com capacidade para 4,5 dm³ (Figura 1).



Figura 1. A) Terra fina seca ao ar (TFSA), Latossolo amarelo; B) Vasos para transplântio com solo.

A análise química do solo foi realizada no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) da Coordenação de Tecnologia e Inovação (COTEI) do INPA, no início e no final do experimento após 150 dias, sendo retirada de cada unidade experimental cinco subamostras para compor uma amostra composta. As seguintes variáveis foram mensuradas: pH (H₂O), Acidez Potencial (H + Al), Fósforo disponível (P), Nitrogênio total (N), Cátions trocáveis (Al, Ca, Mg e K) e micronutrientes (Fe, Zn e Mn). Os parâmetros químicos a serem analisados foram: Soma de Bases (SB), CTC efetiva (t), CTC a pH 7,0 (T), Saturação por Bases (V%), Saturação por Alumínio (m%) (Embrapa 2009).

Equação (1)

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

Sendo:

SB- Soma de Bases (cmol_c dm⁻³)

Ca²⁺ - Cálcio; Mg²⁺ - Magnésio; K⁺ - Potássio (cmol_c dm⁻³)

Equação (2)

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

Equação (3)

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

Sendo:

t- Capacidade de troca de cátions efetiva (cmol_c dm⁻³)

T- Capacidade de troca de cátions potencial (cmol_c dm⁻³)

SB- Soma de Bases (cmol_c dm⁻³)

Al³⁺ - Alumínio trocável (cmol_c dm⁻³); (H⁺ + Al³⁺) -Acidez potencial (cmol_c dm⁻³)

Equação (4)

$$V\% = (SB/T). 100$$

Sendo:

V%- Saturação por bases

SB- Soma de Bases (cmol_c dm⁻³)

T- Capacidade de troca de cátions potencial (cmol_c dm⁻³)

Equação (5)

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

Sendo:

m%- Saturação por alumínio

Al³⁺ - Alumínio trocável (cmol_c dm⁻³)

t- Capacidade de troca de cátions efetiva (cmol_c dm⁻³)

Tabela 1. Características química e física do solo utilizado como substrato para a produção de mudas de pau-rosa, antes adubação.

| pH (H ₂ O) | N | K | Ca | Mg | Al | H + Al | t | T | SB |
|-----------------------|-------------------------|--------|--|-------|---------------------------------|--------|------|------|------|
| | --g kg ⁻¹ -- | | ----- cmol _c dm ⁻³ ----- | | | | | | |
| 4,45 | 0,77 | 0,02 | 0,05 | 0,08 | 0,9 | 1,65 | 1,06 | 1,8 | 0,15 |
| V | m | Argila | Silte | Areia | P | Fe | Zn | Mn | |
| ----- % ----- | | ----- | | | ----- mg kg ⁻¹ ----- | | | | |
| 8,4 | 85,71 | 44,53 | 16,08 | 38,39 | 0,99 | 251,45 | 1,13 | 0,57 | |

H+Al: acidez Potencial; t: capacidade de troca de cátions efetiva; T: capacidade de troca de cátions potencial; SB: Soma de bases; v% : saturação por bases; m% : saturação por alumínio.

3.3 Biocarvão

A matéria prima utilizada na produção do biocarvão foi biomassa fresca de ouriço de castanha do Brasil, a biocarbonização foi realizada em um forno de pirolise de tijolo refratário com capacidade para biocarbonizar 20,0 kg de biomassa fresca (Figura 2). A temperatura de carbonização foi (500°C) com um tempo de residência de 120 minutos. Posteriormente, as amostras foram conduzidas ao Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do INPA, para caracterização quanto aos seus atributos químicos. Todo o processo de produção de biocarvão foi realizado no Laboratório de Celulose e Carvão Vegetal da Coordenação de Produtos Florestais do INPA, Manaus, Brasil. O carvão utilizado apresenta as seguintes características: granulometria 4,0 mm e características químicas (Tabela 2).



Figura 2. A) Ouriço total, B) Biocarbonizador, C) Biocarvão (Gama, 2019).

Tabela 2. Propriedades químicas do biocarvão produzido a partir de ouriços de Castanheira-do-brasil.

| pH | N | P | K | Ca | Mg | S |
|--------------------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| -----g kg ⁻¹ ----- | | | | | | |
| 9,1 | 7,0 | 0,6 | 23,0 | 6,0 | 2,4 | 1,4 |
| | Fe | Zn | Mn | Cu | B | |
| -----mg kg ⁻¹ ----- | | | | | | |
| | 575 | 25 | 265 | 28 | 41 | |

3.4 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado - DIC, em ensaio fatorial (2x5) com doze repetições, totalizando 120 unidades experimentais, sendo os fatores: dois níveis de biocarvão (0 e 20 t ha⁻¹, equivalente a 45 g/vaso) e cinco doses de Nitrogênio (0, 25, 50, 100, e 200 kg ha⁻¹), na forma de uréia com 45% de N (Tabela 3).

Os seguintes tratamentos foram aplicados:

Tabela 3: Descrição dos tratamentos.

| Tratamento | Biocarvão (t ha ⁻¹) | Nitrogênio (kg ha ⁻¹) |
|------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 20 | 0 |
| 3 | 0 | 25 |
| 4 | 20 | 25 |
| 5 | 0 | 50 |
| 6 | 20 | 50 |
| 7 | 0 | 100 |
| 8 | 20 | 100 |
| 9 | 0 | 200 |
| 10 | 20 | 200 |

Todos os tratamentos receberam adubação complementar com fósforo (100 kg ha⁻¹ de Super Fosfato - SF, com 45% de P₂O₅), Potássio (100 kg ha⁻¹ de Cloreto de Potássio - KCl, com 60% de K₂O) e solução nutritiva composta por Sulfato de Magnésio heptahidratado (MgSO₄.7H₂O), com peso molecular de 246,48 g/mol) e Cloreto de Cálcio (CaCl₂.2H₂O, com peso molecular de 147,01 g/mol), sendo aplicada 500 ml e de solução com volume de 2 ml L⁻¹

de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e 5 ml L^{-1} de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ por vaso, sete dias antes do transplante das mudas, e 500ml após transplante, visando incrementar Ca e Mg ao substrato (Sarruge, 1975). Para os micronutrientes (Fe, Zn, Mn), foram aplicadas doses equivalente a 50 kg ha^{-1} de FTE BR12 por vaso.

3.5 Instalação e condução do experimento

Para o presente estudo, foram coletados frutos de *Aniba rosaeodora* Ducke (pau-rosa) de 10 matrizes de um plantio de 30 anos de idade aproximadamente, localizado na Reserva Florestal Adolfo Ducke do INPA, situada no km 26 da rodovia AM-010 (Manaus – Itacoatiara), (latitude $03^\circ 00' 00''$ e $03^\circ 08' 00''$ S e longitude $59^\circ 52' 40''$ e $59^\circ 58' 00''$ W). Após a coleta, os frutos foram homogeneizados e acondicionados em saco plástico por um período de seis dias para que pudessem completar sua maturação. Posteriormente os frutos foram beneficiados de forma manual, com o auxílio de peneiras, no Laboratório de Propagação Vegetativa do INPA, para em seguida serem semeadas.

A semeadura foi realizada em sementeira com areia lavada no Viveiro Florestal da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, com quatro repetições de 100 sementes (Figura 3). O tegumento das sementes foi retirado, com a finalidade de reduzir o tempo de germinação (Sampaio *et al.*, 2003). As plântulas foram repicadas após a emissão do primeiro par de eofilos (Ohashi *et al.*, 2004).



Figura 3. Mudanças de pau-rosa na sementeira do viveiro florestal da UFAM.

As plântulas após formadas foram repicadas e selecionadas quanto a uniformidade da sua altura, diâmetro do coleto, ausência de pragas, ausência de sinais de herbivoria, parte área bem formada, caule ereto e sem bifurcação. Após a seleção, foram transplantadas para vasos de plástico com capacidade de 4,5 dm³ de substrato previamente definido, sendo posteriormente distribuídos de acordo com os tratamentos na casa de vegetação, para a condução do experimento (Figura 4).



Figura 4. A e B) Mudas para transplântio; C) Tratamentos distribuídos na casa de vegetação.

A casa de vegetação apresenta sombreamento de aproximadamente 50%, obtido por meio de sombrites. A temperatura foi monitorada diariamente, com o auxílio de um Termohigrômetro digital Acel, modelo HT-210, a temperatura mínima, máxima e umidade relativa foram obtidas, durante a condução do experimento. A temperatura mínima e máxima foi de 26,4 °C e 32 °C, e a umidade relativa do ar foi de 81 %.

A irrigação das mudas foi aplicada de forma manual, com o auxílio de um regador com capacidade de três litros, sempre que necessário.

3.6 Coleta dos dados de crescimento das plantas

As mensurações das variáveis de crescimento durante a condução do experimento foram realizadas por um período de 150 dias após a repicagem das mudas. Foram determinados Altura da parte aérea (AP), Diâmetro do coleto (DC), Número de folhas (NF), Matéria seca da parte aérea (MSPA), Matéria seca das raízes (MSR), Massa seca total (MST),

Razão Parte aérea /Raiz (RPA/R), Razão Altura da parte aérea/Diâmetro do coleto (AP/DC) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD).

A altura das plantas (AP), diâmetro do coleto (DC) e número de folhas (NF) foram avaliados aos 30, 60, 90, 120 e 150 após a repicagem das mudas. A altura foi mensurada considerando a medida entre o coleto e o meristema apical da muda, com auxílio de uma régua graduada. O diâmetro do coleto foi mensurado, utilizando-se de um paquímetro digital STARRET® (0 - 150 mm).

Para a avaliação da MSPA e MSR, as mudas ao final do experimento (150 dias) foram extraídas inteiras após destorroamento do substrato, lavadas e separadas em raízes, caule e folhas (Figura 5). O corte da parte aérea foi realizado ao nível de 3 cm do solo, coincidindo com a altura de leitura do DC. A MSR foi avaliada considerando as raízes principais e fasciculadas. As raízes foram retiradas dos vasos e submetidas a lavagem em água corrente para retirada do solo preso. Em seguida, todas as partes das mudas foram levadas para a secagem em estufa a 65 °C com circulação de ar forçada até que se atingissem o peso constante (~72 h), e assim sua massa foi determinada através de uma balança digital de precisão. A MST total foi obtida através da soma de MSPA + MSR.

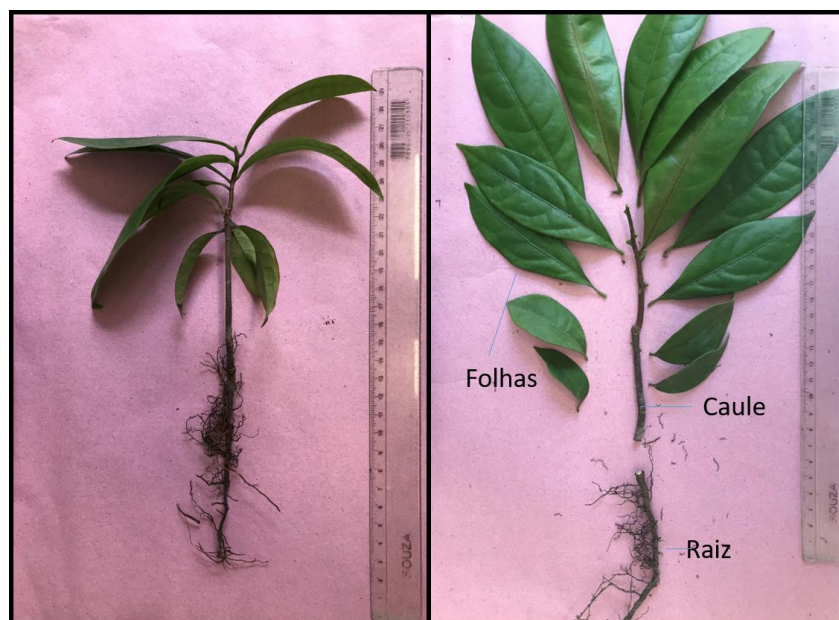


Figura 5. Mudas colhidas 150 dias após o transplantio.

Posteriormente foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), no qual é considerado o cálculo da robustez e do equilíbrio na distribuição da biomassa na muda. Quanto maior for o IQD, melhor será o equilíbrio nutricional e o padrão geral de qualidade das mudas (Dickson, 1960) e é obtido através da seguinte equação (6):

Equação (6)

$$\text{IQD} = \text{MST} / (\text{AP}/\text{DC}) + (\text{MSPA}/\text{MSR})$$

Em que:

MST: Massa seca total, em g;

AP: Altura da parte aérea, em cm;

DC: Diâmetro do caule, em mm;

MSPA: Matéria seca da parte aérea, em g; e

MSR: Matéria seca das raízes, em g.

3.8 Determinação de nutrientes em folhas

Os teores de nutrientes serão determinados em folhas com bom estado fitossanitário, completamente expandida. As amostras foliares foram secas em estufa com ventilação forçada (65°C) até atingir massa constante. Após secagem, as folhas foram moídas em moinho tipo Willey e submetidas à análise química para a determinação dos teores de nutrientes pelo método de digestão úmida, segundo metodologia proposta por Malavolta *et al.* (1997). A análise do nitrogênio foliar foi realizada a partir de amostras contendo 0,1 g de matéria seca submetidas à digestão com duplo ácido (H₂O₂ + H₂SO₄), sendo seus teores determinados pela metodologia de Kjeldahl. Os teores de fósforo foram determinados a partir de amostras contendo 0,5 g de matéria seca submetidas à digestão nitro-perclórica, sendo em seguida, determinados por espectrofotometria a 660 nm. A partir do mesmo extrato nitro-perclórico foram determinados os teores de (K, Ca, Mg, Fe, Zn e Mn) por espectrofotometria de absorção atômica. O conteúdo de nutrientes nas plantas foi estimado com base na matéria seca das folhas. Todas as análises químicas de tecido vegetal foram realizadas no LTSP do INPA, Manaus-AM.

3.9 Análise de dados

Os resultados inicialmente foram avaliados pelo teste de Shapiro-Wilk (teste W) afim de verificar se os dados possuem distribuição normal. Posteriormente os dados foram analisados estatisticamente pelo teste F, desdobrando-se as análises sempre que a interação for significativa, sendo a comparação de médias com base no teste de Tukey e em seguida análise de correlação de Pearson, todos os testes foram realizados ao nível de 1% e 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico Assistat versão 7.7 (Silva e Azevedo, 2016). Quando não atendidas às premissas de homogeneidade e normalidades os dados serão transformados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos do solo

A interação entre os fatores biocarvão (BC) e doses de Nitrogênio (N) foi significativa ($p < 0,05$) para Soma de bases (SB), e ($p < 0,01$) para Acidez potencial ($H+Al^3$), saturação por bases (V%) e Saturação por Alumínio (m%). Para as variáveis nas quais não se observou interação foram aplicadas análises isoladas. Para o fator biocarvão foi significativo ($p < 0,05$) pH (H_2O), ($p < 0,01$) Alumínio (Al^3), CTC efetiva (t) e CTC potencial (T) ($p < 0,01$). Para as doses de N foi significativo ($p < 0,01$) pH (H_2O) e Al^3 . As demais variáveis não apresentaram significância nos tratamentos para os atributos do solo (Anexo 1).

4.1.1 Efeito dos tratamentos no pH (H_2O), a Acidez trocável (Al^3) e Acidez potencial ($H + Al^3$).

O valor do pH em água do material utilizado como substrato foi de 4,9, o que caracteriza um material fortemente ácido, de acordo com as classes de reação do solo, estabelecidas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SisBCS) (Embrapa, 2006). A adição de biocarvão influenciou de forma positiva e significativa ($p < 0,05$) os valores de pH do solo, independente das doses de N aplicadas (Figura 6). Esses resultados ratificam o potencial das cinzas contidas no biocarvão, como corretivo da acidez do solo, através dos compostos carbonatados contidos nas cinzas do carvão, diminuindo a concentração de hidrogênio e alumínio na solução do solo (Yuan *et al.* 2011).

Aplicando doses crescentes de biocarvão (0, 20, 40, 60, 80 t ha⁻¹), Oliveira (2017) e Damaceno (2017) também verificaram o aumento do pH (H_2O) de um Latossolo Amarelo

independente da fertilização. Van Zwieten *et al.* (2010) e Obia *et al.* (2015) reportam que o efeito no aumento do pH (H₂O) foi um dos primeiros resultados alcançados quando se utilizou o biocarvão como condicionador do solo e neste experimento este efeito também foi observado, corroborando com a literatura especializada.

De acordo com Van Zwieten *et al.* (2010) o aumento do pH promovido pela adição de biocarvão ao solo se deve ao aumento dos teores de carbonato de cálcio e magnésio após a pirólise presentes nas cinzas. Tais resultados indicam fortemente que o biocarvão tem efeito corretivo semelhante ao calcário, servindo como alternativa aos solos ácidos amazônicos (Major *et al.*, 2010).

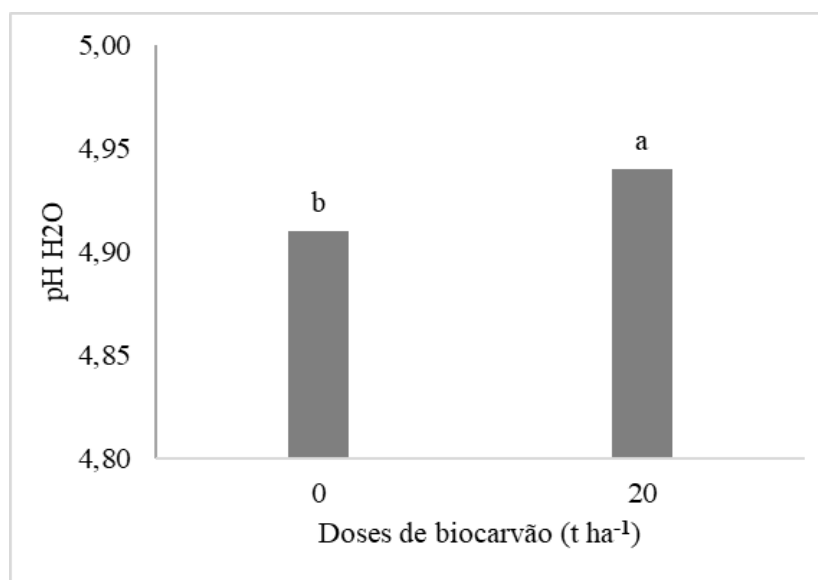


Figura 6. Valor do pH (H₂O) no solo na ausência (B) e presença de biocarvão (A), independente da dose de N aplicada, aos 150 dias após o transplântio.

Avaliando-se o efeito das doses de biocarvão sobre os índices de acidez do solo, é possível notar que o pH (H₂O) próxima a 5,0 também proporcionou diminuição da acidez trocável do solo (Al³⁺) (Figura 7). Pode-se observar que a acidez trocável apresentou diminuição de seu valor com aplicação do biocarvão, de forma isolada. Isto permite inferir que, o efeito corretivo da acidez, causado pelas substâncias carbonadas, presentes nas cinzas do biocarvão, contribuíram para diminuir os teores de alumínio na solução do solo.

O alumínio tóxico é provavelmente o fator mais limitante do crescimento das plantas, em solos com pH (H₂O) na faixa de < 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). A disponibilidade dos nutrientes do solo tem uma relação direta com o índice de acidez que, conseqüentemente, afeta vários parâmetros do solo (H + Al, CTC, SB, V% e m%). Após um ano de experimentação, Peter (2010) também verificou que a respectiva adição de 0, 2, 4, 8 e 16 t ha⁻¹ 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 de 4,20 para 4,73. Esses resultados confirmam os efeitos da aplicação do biocarvão na redução dos índices de acidez do solo.

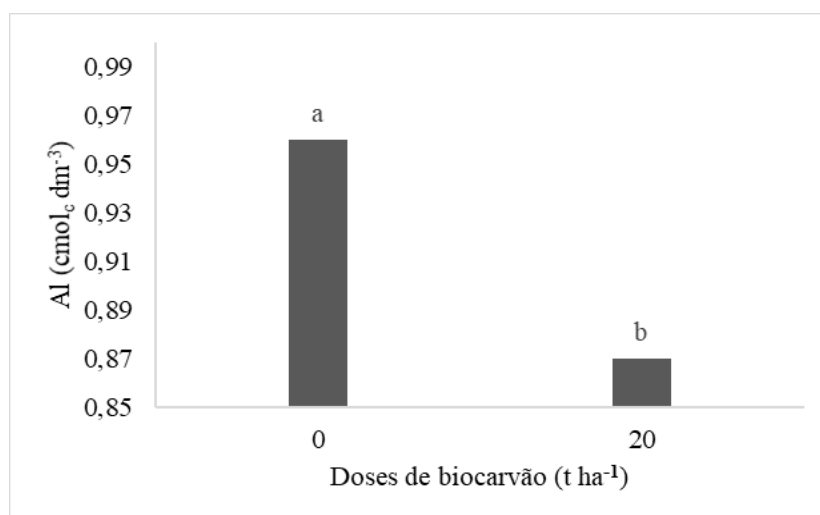


Figura 7. Teor de Al trocável no solo na ausência (B) e presença de biocarvão (A), independente da dose de N aplicada, aos 150 dias após o transplântio.

Os valores de acidez potencial não diminuíram na presença do biocarvão, exceto na combinação com a dose de 25,0 kg ha⁻¹ de N. A ausência de biocarvão e a adubação nitrogenada alterou de forma significativa a acidez potencial, o que não ocorreu na presença do biocarvão, onde nas doses mais altas de N a acidez potencial apresentou valores mais elevados (Tabela 3). Uma análise complementar mostrou uma correlação muito baixa (0,04) entre acidez potencial e pH (Tabela 9).

Adicionalmente, alto valor de acidez potencial (> 5,00 cmol_c dm⁻³) não é um valor desejável 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, demonstrando que o solo tem

elevada acidificação. Notadamente na tabela 3 todos os valores são considerados altos, podendo ser prejudicial para as plantas (Lopes e Guilherme 2004).

Tabela 3. Médias dos valores de acidez potencial ($H + Al^3$) em função da interação de doses de N, na ausência e presença de biocarvão em substrato para produção de mudas de pau-rosa.

| Atributo | Biocarvão (t ha ⁻¹) | ----- N ----- (kg ha ⁻¹) | | | | |
|---|------------------------------------|---|----------|----------|---------|----------|
| | | 0 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| H + Al (cmol _c dm ⁻³) | 0 | 5,54 aA | 5,50 abA | 5,25 bA | 5,26 bB | 5,28 abA |
| | 20 | 5,52 abA | 5,26 bB | 5,41 abA | 5,55 aA | 5,42 abA |

As médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,01$).

4.1.2 Efeito dos tratamentos na Soma de bases (SB), Capacidade de troca de cátions efetiva (t), Capacidade de troca de cátion potencial (T).

A aplicação do biocarvão combinados com as doses de N, proporcionaram um aumento significativo na SB, em relação a ausência de biocarvão nos tratamentos (Tabela 4). Tal combinação, BC e N aumentaram os valores em média 59,40% a SB (Tabela 4). O aumento da SB pode estar relacionado ao teor de potássio contido nas cinzas do biocarvão. Cruz Junior (2010) trabalhando com biocarvão de ouriço de castanha, pirolisado a 650 °C encontrou valores do teor de cinzas em torno de 3,1% com 30% de K₂O. Neste estudo o teor de cinza ficou em torno de 2,7%, assegurando um incremento de aproximadamente 350,0 kg ha⁻¹ de K₂O. De acordo Lehmann (2003) o maior percentual de K foi relacionado ao maior percentual de biocarvão no solo indicado que o biocarvão pode ser fonte de K.

Notou-se forte correlação ($p < 0,01$) entre as doses de biocarvão e as bases do solo (K, Ca e Mg), influenciando diretamente na soma de bases (SB) e a saturação por bases (Tabela 9).

Tabela 4. Médias dos valores de Soma de bases (SB) em função da interação de doses de N, na ausência e presença de biocarvão em substrato para produção de mudas de pau-rosa.

| | Biocarvão (t ha ⁻¹) | N (kg ha ⁻¹) | | | | |
|---|------------------------------------|-----------------------------|---------|----------|----------|---------|
| | | 0 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| SB (cmol _c dm ⁻³) | 0 | 1,13 bB | 1,12 bB | 1,27 abB | 1,21 abB | 1,32 aB |
| | 20 | 1,82 bA | 2,01 aA | 1,86 abA | 1,98 abA | 2,02 Aa |

As médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Nota-se que, tanto a CTC efetiva (t) quanto a potencial (T) em relação a aplicação do biocarvão apresentaram valores mais elevados, aumentando aproximadamente 30,09% o valor da CTC efetiva (t) e 12,17% a CTC potencial (T) em comparação a ausência do biocarvão (Tabela 5), corroborando os resultados ao seu efeito coloidal artificial (Lehmann, 2009; Petter, *et al.* 2012; Damaceno, 2017; Oliveira, 2017).

Segundo Glaser *et al.* (2003), a elevação da CTC se deve a oxidação da superfície do biocarvão ao expor os grupos funcionais carregados negativamente. 78 dias entre o início e o final do experimento, Lima (2016) observou aumento médio de 0,21 cmol_c dm⁻³ na CTC efetiva abaixo do encontrados no período deste trabalho (0,65 cmol_c dm⁻³). Durante 64 dias de experimentação, Andrade *et al.* (2015) também observaram aumento progressivo da CTC efetiva em função das doses de biocarvão. Considerando os baixos valores de CTC encontradas em solos Amazônicos (< 2,0 cmol_c dm⁻³), a aplicação do biocarvão pode ser alternativa de manejo ao longo do tempo.

De acordo com Lopes e Guilherme (2004), admite-se que índices ($\leq 1,60$ 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) considerado muito bom. Com isso os valores encontrados nesse estudo são considerados baixos, demonstrando que existe uma deficiência na retenção de cátions no solo. Pois, quanto maior a CTC do solo, maior a quantidade de cátions que este solo pode reter. Estes cátions retidos podem ser trocados por outros cátions equivalentes, e depende do número de cargas negativas existentes no solo.

Tais resultados confirmam que o biocarvão é capaz de reter esses nutrientes em seus sítios reativos, aumentando sua disponibilidade em solução através da elevação da capacidade de troca de cátions (CTC) em comparação com a ausência de aplicação do biocarvão (Kämpf *et al.*, 2003; Lehmann *et al.*, 2003)

Tabela 5. Médias dos valores de CTC efetiva (t) e CTC potencial (T) em função da ausência e presença de aplicação de biocarvão em substrato para produção de mudas de pau-rosa.

| Fator BC (t ha ⁻¹) | t -----cmol _c dm ⁻³ ----- | T |
|-----------------------------------|--|--------|
| 0 | 2,16 b | 6,57 a |
| 20 | 2,81 a | 7,37 b |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,01).

4.1.3 Efeito dos tratamentos na saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%).

Na ausência de biocarvão a adubação nitrogenada alterou significativamente a percentagem de saturação por bases (Tabela 6), ocorrendo o mesmo na presença de biocarvão. Entretanto, comparando os valores de V% na presença e ausência de biocarvão, nota-se que houve um grande aumento, independente das doses de N utilizadas. Porém esses valores são considerados baixos, classificando assim o solo como pobre pois V% <50.

O conhecimento da percentagem de saturação por bases é muito importante para conhecer o nível de fertilidade do solo. Um solo que apresenta baixo V% significa que existe uma maior adsorção de Al³⁺ e H⁺ e quantidades menores dos cátions básicos Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, adsorvidos nos colóides do solo. O V% indica quanto por cento dos pontos de troca de cátions, nos colóides, estão ocupados por bases, ou, em outras palavras, quanto por cento das cargas negativas estão ocupadas por Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, em relação aos pontos de troca dos cátions ácidos H⁺ e Al³⁺ (Alvarez *et al.*, 1999; Carvalho, 2005).

Costuma-se dizer que o solo que apresentar a percentagem de saturação por bases (V%) maior que 50% é considerado um solo fértil (eutrofico). Solos com V menor que 50% seriam chamados de solos não férteis ou de baixa fertilidade (distróficos). Os solos distróficos podem apresentar pobreza de bases trocáveis (Ca) e um alto teor de Al³⁺ trocável ou uma

percentagem de saturação por Al^3 (m%) maior que 50%, o que os caracterizariam como solos muito pobres, ou seja, Al^3 trocável igual ou maior que 0,3 cmolc/dm³ e m% igual ou maior que 50% (Lopes, 2004; SBCS, 2004).

Visualiza-se que somente a presença do biocarvão proporcionou um aumento de aproximadamente 43,44% nos valores de percentagem de saturação por bases, valores semelhantes foram observados por Masud *et al.* (2014) ao analisar o efeito de escória alcalina e resíduos de biocarvão de biomassa de canela e amendoim em um Argissolo ácido. Este efeito pode ser observado nos primeiros meses após a sua aplicação, sendo diminuído gradativamente (Carvalho *et al.* 2016; Guimarães *et al.* 2017; Madari *et al.* 2017).

De acordo com Masud *et al.* (2014) é importante ressaltar ainda que os efeitos promovidos pelo biocarvão nas mudanças da saturação por bases por meio do aumento de bases (Ca, Mg, k) no complexo de trocas (troca de Al^{3+} e H^+), é perfeitamente retomado pois as bases são absorvidas pelas plantas e os cátions H^+ e Al^{3+} retornam aos sítios de troca de cátions no qual são fortemente retidos, tornando o pH do meio menor e naturalmente diminuído a saturação por bases do solo.

Ao verificar-se a interação sobre o alumínio e a saturação de alumínio (m%), é possível verificar que houve diferença significativa na presença do biocarvão (Figura 3; Tabela 6), independente das doses de N, tanto o Al como a m%, sofreram redução na presença do biocarvão, 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 biocarvão em aumentar o pH do solo e assim reduzir a acidez trocável (Havlin *et al.*, 2005). Os teores de Al observados neste estudo encontraram-se na faixa considerado médio com e sem aplicação de biocarvão (Figura 3).

Tabela 6. Médias dos valores de Saturação de bases (V%) e Saturação por alumínio (m%) em função da interação de doses de N, na ausência e presença de biocarvão em substrato para produção de mudas de pau-rosa.

| | | Biocarvão (t ha ⁻¹) | N (kg ha ⁻¹) | | | | |
|----|----|------------------------------------|-----------------------------|-----------|------------|------------|------------|
| | | | 0 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| V% | 0 | 16,91 bB | 16,90 bB | 19,50 Ab | 18,72 abB | 19,99 aB | |
| | 20 | 24,82 cA | 27,63 aA | 25,61 bcA | 26,29 abcA | 27,05 abA | |
| | | | 0 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| m% | 0 | 47,37 aA | 47,26 aA | 43,08 Ba | 42,94 bA | 40,64 bA | |
| | 20 | 33,50 aB | 30,55 bcB | 32,65 abB | 30,35 bcB | 29,09 cB | |

As médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,01).

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

A interação entre os fatores biocarvão (BC) e doses de N foi significativa apenas para Ca (p<0,05). Para as variáveis nas quais não se observou interação foram aplicadas análises isoladas. Para o fator BC, todos os nutrientes foram significativos (p<0,01), com exceção de P, Fe e Zn. Com relação ao efeito isolado do fator N foi observada significância para N e Ca (p<0,01). Os demais nutrientes não apresentaram significância (Anexo 2).

4.1.5 Efeito dos tratamentos nos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg).

Nitrogênio total

Neste estudo não ocorreu interação entre os fatores biocarvão e adubação nitrogenada. No entanto a aplicação do biocarvão proporcionou um aumento de aproximadamente 10,0% de N total, analisando o fator de forma isolada (Tabela 7). De acordo com Tan *et al.* (2018) a distribuição do nitrogênio no sistema biocarvão-planta ainda não está clara no qual não houve interação, mas observaram aumento na disponibilidade de nitrato e amônia no solo após aplicação de N.

Investigado o efeito do biocarvão na disponibilidade do N no solo e na planta usando nitrogênio enriquecido Taghizadeh-Toosi *et al.* (2012a) concluiu que há de fato maior

disponibilidade de N no solo e na planta na presença do biocarvão, sugerindo que o biocarvão cria um ambiente no qual permite inferir que independentemente das diversas reações que ocorre no solo na presença de N, mostrando que a presença do biocarvão inibe fatores e/ou processos que possam aumentar a perda N do sistema solo-planta.

A partir da aplicação de biocarvão de resíduos de capoeira, Lehmann *et al.* (2003) observaram a redução significativa da lixiviação de fertilizantes nitrogenados, corroborando possivelmente com o aumento dos teores de N em solução promovidos pela adição de ureia.

Steiner *et al.* (2008) e Yang *et al.* (2017) sugerem que os efeitos nesses processos estão sujeitos a natureza da matéria prima do biocarvão, temperatura de pirólise bem como as características do solo como teor de argila, textura e teor matéria orgânica (Zheng *et al.* 2013; Liu *et al.* 2017). Ainda que isoladamente, este trabalho mostra que houve resultado significativo para biocarvão, indicando que o biocarvão aumenta a disponibilidade de N.

Tabela 7. Médias dos valores de Nitrogênio (N), Potássio (K), Magnésio (Mg) e Manganês (Mn) em função da ausência e presença de biocarvão em substrato para produção de mudas de pau-rosa.

| Fator BC (t ha ⁻¹) | N --- g kg ⁻¹ --- | K ---- cmol _c dm ⁻³ ---- | Mg | Mn -- mg kg ⁻¹ -- |
|-----------------------------------|---------------------------------|---|--------|---------------------------------|
| 0 | 1,30 b | 0,15 b | 0,30 b | 3,65 b |
| 20 | 1,41 a | 0,60 a | 0,39 a | 5,65 a |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,01).

Potássio no solo

Não houve interação entre os fatores BC e N para o K disponível, ocorrendo apenas diferença significativa ao analisar o fator biocarvão isoladamente. A aplicação do biocarvão aumentou em 4 vezes o valor do potássio no solo (Tabela 7). Isso ocorreu devido à fertilização do solo, pois pode ter relação ao teor de potássio contido nas cinzas do biocarvão, que assegura um incremento de aproximadamente 350,0 kg ha⁻¹ ao solo. Ainda se verificou uma forte correlação positiva (r = 0,95) (Tabela 9). Nunes (2010) ao adicionar carvão vegetal verificou o aumento dos teores de K nos substratos em dois tipos de solo estudado, esse aumento se deve ao alto teor de K encontrado no carvão e nas cinzas, o aumento seguiu uma tendência linear positiva em relação às doses de carvão. De acordo Glaser *et al.* (2002) e

Lehmann (2003) o elevado percentual de K foi relacionado ao maior percentual de biocarvão no solo, indicando que as cinzas contidas no biocarvão podem ser responsáveis por esse aumento, considerando que o biocarvão é uma boa fonte de potássio.

A elevação do K conferiu posterior elevação na soma e saturação por bases (Tabela 4 e 6) e forte correlação ($r = 0,95$) (Tabela 9). Estes resultados são similares aos obtidos por Lima (2016), ao qual notaram correlação linear entre o aumento do biocarvão aplicado (0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 t ha⁻¹) e as bases em argissolo na produção de girassol. Esses resultados concordam com os encontrados por Glaser et al. (2002), Onguntude et al. (2004) e Steiner *et al.* (2004) que verificaram aumento dos teores de K trocável no solo.

Tais resultados confirmam que o biocarvão é capaz de reter esses nutrientes em seus sítios reativos, aumentando sua disponibilidade em solução através da elevação da capacidade de troca de cátions (CTC) (Lehmann *et al.*, 2003). Em geral, os teores de K foram admitidos como altos devido à fertilização ($K > 0,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Devido as características químicas da composição do biocarvão utilizado nesse estudo.

Cálcio no solo

A interação entres os fatores BC e N foi positiva para o Ca ($p < 0,01$), a adição de N na ausência e presença do biocarvão aumentaram os teores de Ca no solo. Adicionalmente na comparação isolada na ausência e presença de biocarvão, ocorreu diferenças significativa ($p < 0,01$) independente das doses de N (Tabela 8). Esses resultados estão de acordo com Lehmann *et al.* (2002) que observaram aumento nos teores de Ca com a adição de carvão em Latossolo amarelo distrófico e diferem dos encontrados por Medeiros Junior (2007) que não observou efeito do carvão vegetal nos teores de Ca no solo. Segundo Rajj *et al.* (1996), os substratos com 50 e 70% de carvão vegetal apresentaram teores adequados de Ca. A maior disponibilidade do Ca em Latossolo é um efeito confirmado em campo (Falcão *et al.*, 2013) mostrando que o BC incrementa de fato os cátions no solo. Porém a quantidade encontrada nesse estudo é considera baixa ($\text{Ca} < 1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Tabela 8. Médias dos valores de Cálcio trocável (Ca) em função da interação de doses de N, na ausência e presença de biocarvão em solo para produção de mudas de pau-rosa.

| | Biocarvão (t ha ⁻¹) | N (kg ha ⁻¹) | | | | |
|---|------------------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|---------|
| | | 0 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| Ca (cmol _c dm ⁻³) | 0 | 0,71 bB | 0,69 bB | 0,79 abB | 0,76 abB | 0,83 aB |
| | 20 | 0,88 bA | 0,97 abA | 0,91 abA | 0,99 aA | 0,99 aA |

As médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Magnésio do solo

Para o elemento Mg não houve interação entre os fatores BC e N. A análise isolada dos fatores foi significativa (p< 0,01) apenas para o biocarvão, que aumentou os teores de Mg no solo em aproximadamente 30% comparado a ausência de biocarvão. Esse aumento pode estar relacionado a quantidade de Mg na composição do biocarvão (Tabela 2). No entanto os teores encontrados nesse estudo são considerados baixos (Mg <0,5 cmol_c dm⁻³) uma vez verificada a inexistência de calagem, fonte desse nutriente (Tabela 7). Apesar do aumento nos teores de Mg, segundo Rajj *et al.* (1996), todos os substratos apresentaram baixos teores de Mg menor que 0,6 mg dm⁻³. Esses resultados diferem dos encontrados por Medeiros Junior (2007) que observou resposta quadrática negativa no teor de Mg em relação ao uso de fino carvão. Por outro lado, estão de certa forma de acordo com Lehmann *et al.* (2002) e Topoliantz *et al.* (2005) que observaram aumento nos teores de Mg com a adição de carvão em Latossolo.

Efeito semelhante foi encontrado por (Miranda *et al.* 2017) trabalhando com a cultura do arroz no qual observou menor teor de Mg, maior pH, maior teor de N no solo em um estudo conduzindo com biocarvão, ele atribuiu este efeito ao deslocamento do Ca e Mg para a solução do solo e posterior lixiviação dessas bases.

4.1.6 Efeito dos tratamentos nos teores de micronutrientes (Fe, Zn e Mn) no solo.

Manganês no solo

Para a avaliação dos micronutrientes, somente o Mn foi significativamente diferente entre os tratamentos (p<0,01), respondendo a aplicação isolada do biocarvão, que aumentou a

disponibilidade desse elemento em 54,80% em relação a ausência do biocarvão (Tabela 7). Em um estudo realizado por Lehmann *et al.* (2002) também foi observado aumento nos teores de Mn com a adição de carvão em Latossolo.

Apesar de não significativos os teores de Fe e Zn são considerados altos com médias de 142,16 e 2,96 mg kg⁻¹ respectivamente. Já o Mn apresentou valores médios de 3,65 e 5,65 mg kg⁻¹ para ausência e presença de biocarvão, valores considerados baixos para o solo (Mn <5,0 mg kg⁻¹) (Tabela 7).

No caso do Fe do Mn, possivelmente os maiores valores obtidos após esse período estão ligados aos teores destes no biocarvão, 575 e 265 mg kg⁻¹, visto que pode servir como fonte de nutrientes (Novotny *et al.*, 2009). Tal fato confirma-se quando se nota que na dose 0 t ha⁻¹ de biocarvão, os teores desses micronutrientes variaram levemente e segundo Mukome (2013) e Lima *et al.* (2015), a utilização de biocarvão com baixos teores de nutrientes pode ser fator limitante ao desenvolvimento vegetal.

De acordo com Dechen e Nachtigall (2006), os elevados níveis de Zn e Mn no solo também podem contribuir para formação de precipitados no solo. De forma geral, os teores de Fe foram considerados elevados no solo (> 45 mg dm⁻³), enquanto que os teores de Zn variaram de médio a alto e os de Mn foram considerados baixos.

Tabela 9. Correlação de Pearson entre as doses de biocarvão (BC) e atributos do solo do experimento para produção de mudas de pau-rosa.

| | Atributos do solo | | | | | | | | Nutrientes do solo | | | | | | | | |
|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----|
| | BC | pH | SB | Al | Al + H | t | T | V% | m% | Nt | P | K | Ca | Mg | Fe | Zn | Mn |
| BC | - | | | | | | | | | | | | | | | | |
| pH | 0,18 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | | | | | |
| SB | 0,90 ^{**} | 0,16 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | | | | |
| Al | -0,48 [*] | -0,50 ^{**} | -0,55 ^{**} | - | | | | | | | | | | | | | |
| Al + H | 0,12 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | | |
| t | -0,87 ^{**} | -0,30 ^{ns} | -0,95 ^{**} | 0,71 ^{**} | -0,04 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | |
| T | 0,77 ^{**} | 0,15 ^{ns} | 0,85 ^{**} | -0,46 ^{**} | 0,63 ^{**} | -0,77 ^{**} | - | | | | | | | | | | |
| V% | 0,89 ^{**} | 0,15 ^{ns} | 0,98 ^{**} | -0,53 ^{**} | -0,1 ^{ns} | -0,95 ^{**} | 0,72 ^{**} | - | | | | | | | | | |
| m% | -0,88 ^{**} | -0,28 [*] | -0,97 ^{**} | 0,72 ^{**} | -0,10 ^{ns} | 0,99 ^{**} | -0,80 ^{**} | -0,95 ^{**} | - | | | | | | | | |
| Nt | 0,47 [*] | 0,12 ^{ns} | 0,52 [*] | -0,45 ^{**} | 0,05 ^{ns} | -0,52 ^{**} | 0,43 ^{**} | 0,51 ^{**} | -0,54 ^{**} | - | | | | | | | |
| P | -0,11 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | -0,25 [*] | 0,15 ^{ns} | -0,26 [*] | -0,11 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | -0,23 [*] | - | | | | | | |
| K | 0,95 ^{**} | 0,17 ^{ns} | 0,95 ^{**} | -0,50 ^{**} | 0,15 ^{ns} | -0,89 ^{**} | 0,83 ^{**} | 0,92 ^{**} | -0,91 ^{**} | 0,48 ^{**} | -0,09 ^{ns} | - | | | | | |
| Ca | 0,71 ^{**} | 0,16 ^{ns} | 0,84 ^{**} | -0,42 ^{**} | -0,06 ^{ns} | -0,82 ^{**} | 0,63 ^{**} | 0,86 ^{**} | -0,81 ^{**} | 0,36 ^{**} | -0,09 ^{ns} | 0,69 ^{**} | - | | | | |
| Mg | 0,49 [*] | 0,05 ^{ns} | 0,73 ^{**} | -0,52 ^{**} | 0,22 [*] | -0,71 ^{**} | 0,69 ^{**} | 0,68 ^{**} | -0,73 ^{**} | 0,50 ^{**} | -0,33 ^{**} | 0,59 ^{**} | 0,46 ^{**} | - | | | |
| Fe | 0,01 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | 0,29 ^{**} | 0,01 ^{ns} | 0,18 ^{ns} | -0,05 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,07 ^{ns} | 0,01 ^{**} | 0,04 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | - | | |
| Zn | 0,14 ^{ns} | 0,13 ^{ns} | 0,13 ^{ns} | -0,11 ^{ns} | 0,07 ^{ns} | -0,14 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | -0,14 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | -0,06 ^{**} | 0,16 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | - | |
| Mn | 0,74 ^{**} | 0,09 ^{ns} | 0,83 ^{**} | -0,55 ^{**} | 0,29 ^{**} | -0,79 ^{**} | 0,80 ^{**} | 0,77 ^{**} | -0,82 ^{**} | 0,58 ^{**} | -0,31 ^{**} | 0,80 ^{**} | 0,51 ^{**} | 0,86 ^{**} | 0,11 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | - |

**Significativo a 1 % ($p < 0,01$), *Significativo a 5% ($0,01 \leq p < 0,05$) e ns Não Significativo pelo Teste t de probabilidade. Informa-se que as correlações são lineares.

4.2 Parâmetros biométricos e produção de biomassa seca

Todas as variáveis biométricas estudadas apresentaram respostas significativas em pelo menos um dos fatores de variação analisados (biocarvão, adubação nitrogenada e a interação destes). A interação entre os fatores biocarvão (BC) e doses de N foi significativa ($p < 0,01$) apenas para o Número de folhas (NF). Para as variáveis nas quais não se observou interação foram aplicadas análises isoladas. Para o fator BC, todas as variáveis foram significativas ($p < 0,05$), com exceção da Altura da parte aérea (AP) e Número de folhas (NF). Com relação ao efeito isolado do fator N foi observada significância somente para a variável altura ($p < 0,01$). Os demais parâmetros não apresentaram significância (Anexo 3).

4.2.1 Efeitos dos tratamentos sobre as variáveis biométricas

Altura da parte aérea (AP)

A altura da parte aérea (AP) fornece uma excelente estimativa da predição do crescimento inicial, sendo tecnicamente aceita como uma boa medida do potencial de desempenho das mudas, tratando-se de um parâmetro de fácil determinação, através de métodos não destrutivo, além de sua medição ser muito simples (Mexal e Lands, 1990; Gomes, 2001; Gomes *et al.*, 2002).

O crescimento em altura de mudas de *A. rosaeodora* Ducke foi de 150 dias. A análise fatorial mostrou ter havido resposta significativa das mudas de pau-rosa à adubação nitrogenada aplicada. Houve um aumento significativo no crescimento em altura de aproximadamente 12% nos tratamentos nas doses de 25 kg ha⁻¹ e 100 kg ha⁻¹ de N (10,26 e 9,34 centímetros) em relação aos demais tratamentos, tendo seu ponto máximo na dose de 25 kg ha⁻¹. Por outro lado, observaram-se efeitos negativos da adubação nitrogenada na maior dose avaliada (200 kg ha⁻¹), sendo o crescimento em altura, estatisticamente, inferior ao crescimento observado (Figura 8).

Concordando com os resultados obtidos neste trabalho, Silva e Muniz (1995) notaram em seu estudo com mudas de cedro (*Cedrela fissilis*), cultivadas em solução nutritiva por cento e dez dias, que a ausência de nitrogênio na solução foi um dos elementos que mais influenciou negativamente o crescimento das plantas. Segundo esses mesmos autores, a deficiência nutricional diminuiu e, posteriormente, estagnou o crescimento das mudas, em relação ao tratamento com todos os nutrientes, tendo isso também ocorrido com Muniz e Silva (1995), ao trabalharem com mudas de peroba-rosa (*Aspidosmerma polyneuron*).

Essa resposta coincide com o obtido por Nicoloso et al. (2001), trabalhando com mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa*) com 140 dias, em que não verificaram efeito da adubação nitrogenada, quando aplicada isoladamente ou associada a fósforo, sobre a altura das plantas. Tucci (2008) ao avaliar a adubação nitrogenada na produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King), verificou que a variável altura não respondeu significativamente a doses de N aplicadas durante 90 dias de experimento.

Duboc et al. (1996) notaram que a omissão de nutrientes, entre eles o nitrogênio, mostrou-se mais importante para o crescimento em altura do que em diâmetro das plantas de copaíba. Segundo esses mesmos autores, o diâmetro diferentemente da altura não foi afetado pela omissão de nitrogênio.

Valencia (2010) ao avaliar o crescimento de *Aniba rosaeodora* Ducke em diferentes ambientes de fertilidade, observou que a omissão de adubação nitrogenada, não foi significativo para a variável altura, contrário aos resultados encontrados nesse estudo.

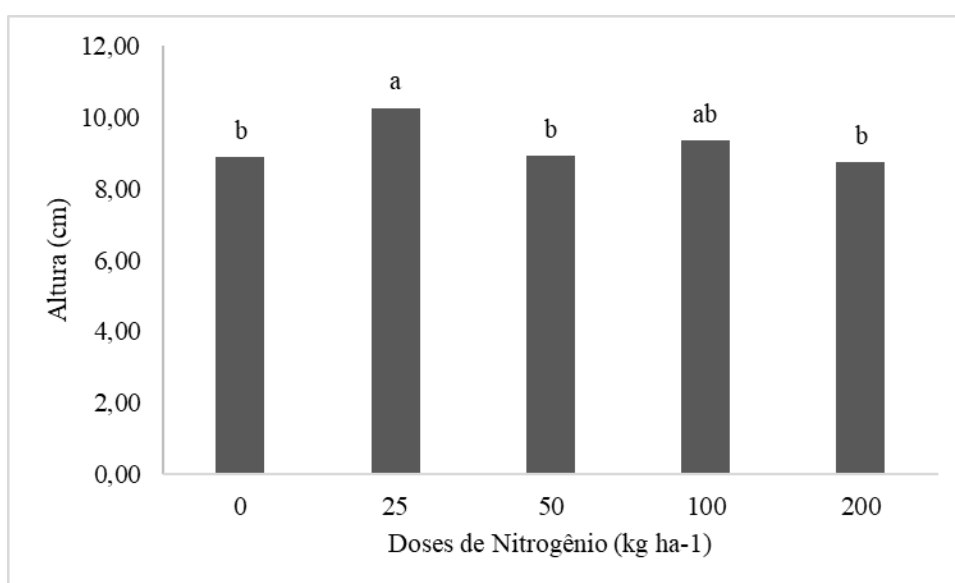


Figura 8. Valores médios de altura (H) em função das doses de N, independente da aplicação de biocarvão, aos 150 dias após o transplantio.

Diâmetro do coleto (DC)

O diâmetro do coleto é facilmente mensurável, não sendo um método destrutivo, é considerado por muitos pesquisadores como um dos mais importantes parâmetros para estimar a sobrevivência após o plantio de mudas de diferentes espécies florestais (Gomes, 2001). No presente trabalho, com relação ao parâmetro diâmetro do coleto (DC), a análise

fatorial mostrou ter havido efeito significativo ($p < 0,05$) na aplicação de biocarvão isoladamente no crescimento das mudas de pau-rosa.

Os valores encontrados após o período experimental (150 dias), apresentaram uma redução de 5% nos valores de DC, com a aplicação de biocarvão nos tratamentos avaliados (Tabela 10). Tal comportamento do DC corrobora com os obtidos por Simões *et al.* (2015) e Nunes (2010), no qual observaram valores elevados para essa variável na ausência de fertilização do substrato ou em doses baixas de biocarvão na produção de mudas de castanheira, sugerindo ser característica de adaptação da espécie. Esses dados revelam resposta diferenciada da espécie à adição de biocarvão ao substrato, reforçando a necessidade de estudos envolvendo uso desse fator com outras espécies florestais. Entretanto, os valores estáveis dessa variável sob as doses N sugerem que o pau-rosa responde a adubação nitrogenada.

Damaceno 2017, ao avaliar o biocarvão e o efeito residual de adubação fosfatada em mudas de castanheira-do-brasil em Latossolo da Amazônia, observou um decréscimo de 39,2% e 23,4% do DC após a dose de 40 t ha^{-1} de biocarvão, respectivamente para - pr e +pr, corroborando com presente estudo. Esses dados também corroboram com os obtidos por Zanetti *et al.* (2003), que ao avaliar o crescimento de *E. urophylla*, observou que a adição do biocarvão reduziu o desenvolvimento em altura e diâmetro do coleto em todas as épocas avaliadas.

Em geral, a ausência de proporcionalidade do aumento dos valores de AP e DC com o aumento das doses de biocarvão foram reportadas por Rezende *et al.* (2016) para composição do substrato na produção de mudas de Teca (*Tectona grandis*), argumentando que as adições de doses crescentes ao substrato podem afetar a macroporosidade podendo prejudicar o desenvolvimento das plantas. O efeito do biocarvão sobre essas variáveis, dependem diretamente da espécie avaliada, podendo ser ausente (Zanetti *et al.*, 2003, Petter e Madari, 2012) ou benéfico (Kwapinski *et al.*, 2010; Dharmakeerthi *et al.*, 2012).

Tabela 10. Médias dos valores de Diâmetro do coleto (DC), Massa seca da parte aérea (MSPA), Massa seca raiz (MSR) e Massa Seca total (MST) em função da ausência e presença de biocarvão em substrato para produção de mudas de pau-rosa.

| Fator BC (t ha ⁻¹) | DC (mm) | ----- g ----- | | |
|-----------------------------------|------------|---------------|--------|---------|
| | | MSPA | MSR | MST |
| 0 | 3,88 a | 7,96 a | 3,61 a | 11,57 a |
| 20 | 3,71 b | 7,68 b | 3,55 b | 11,23 b |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Número de folhas (NF)

O número de folhas (NF) apresentou significância (p<0,05) para a interação BC e N. Pode-se observar que a aplicação de biocarvão associada a dose mais elevada de N (200 kg ha⁻¹), foi a única diferença encontrada para esse parâmetro nos tratamentos avaliados, aumentando aproximadamente 23% o número de folhas (Tabela 11). De acordo com Taiz e Zeiger (2004), o NF reflete nas demais variáveis fisiológicas das plantas, como altura e diâmetro, fato confirmado neste estudo na dose de 20 t ha⁻¹ dada a correlação significativa (p<0,01) desses (r=0,0,33 e 0,29) (Tabela 12).

Tais valores são similares aos obtidos por Simões *et al.* (2015) para mudas de *Bertholletia excelsa* sob fertilização. Valencia (2010) ao avaliar o crescimento de *Aniba rosaeodora*, notou que o número de folhas e área foliar das plantas de pau-rosa pode ser afetada em solos com baixa disponibilidade de macronutrientes, entre eles o N.

Tabela 11. Médias dos valores de Cálcio trocável (Ca) em função da interação de doses de N, na ausência e presença de biocarvão em solo para produção de mudas de pau-rosa.

| | Biocarvão (t ha ⁻¹) | ----- N ----- (kg ha ⁻¹) | | | | |
|--------------|------------------------------------|---|---------|---------|---------|------------|
| | | 0 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| Nº de Folhas | 0 | 8,28 aA | 8,23 aA | 7,90 aA | 7,70 Aa | 6,88 aB |
| | 20 | 7,60 aA | 7,70 aA | 7,37 aA | 8,57 Aa | 8,50 aA |

As médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

4.2.2 Efeitos dos tratamentos sobre produção de biomassa seca

Para as variáveis MSPA, MSR e MST, não houve interação entre os fatores BC e N, com isso os fatores foram avaliados isoladamente. Avaliando a aplicação do biocarvão as três variáveis responderam significativamente ($p < 0,05$) MSPA, MST e ($p < 0,01$) MSR. Para as doses de N, apenas a MSR foi significativa ($p < 0,05$). Para a MSPA na comparação, ausência e presença de biocarvão, houve diferença significativa entre as doses, ocasionando aumento de biomassa na ausência de biocarvão. Apesar das diferenças, não foram observados ganhos representativos, com isso em decorrência dos valores mais estáveis de produção de biomassa seca (MSPA, MSR e MST), não houve diferença significativa na relação MSPA/MSR, para os fatores avaliados (Tabela 10).

Estes resultados corroboram com os encontrados por Gama (2019), que ao avaliar o efeito do biocarvão e adubação nitrogenada no crescimento de mudas de castanheiras-do-brasil em um Latossolo da Amazônia central, encontrou resultados semelhantes para as variáveis analisadas, observando o aumento expressivo de MSPA na ausência da aplicação de biocarvão independente das doses de N. Esses resultados são compatíveis com os obtidos por Petter *et al.* (2012), que não verificaram ganhos de matéria seca dessas partes proporcionais ao aumento das concentrações de biocarvão no substrato para formação de mudas de eucalipto.

Damaceno (2017) também observou redução de MSPA na faixa de aproximadamente 50% ao aplicar doses crescentes de biocarvão na produção de mudas de castanheira, associado a adubação fosfatada.

Para a variável MSR, na comparação, ausência e presença e biocarvão, observou diferenças significativas entre as doses, levando a um leve aumento de biomassa na ausência de biocarvão (Tabela 10). Gama (2019), na comparação, ausência e presença e biocarvão, observou diferenças significativas apenas doses 135 e 270 kg ha⁻¹ de N, com o aumento de biomassa na ausência de biocarvão. Em função do aumento das concentrações de biocarvão, Petter *et al.* (2012) observaram diminuição de MSR em mudas de Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), Segundo Gomes *et al.* (2004) e, Marschner (2012) atribuíram o elevado desenvolvimento radicular, como mecanismo de espécies florestais a condições adversas como estratégia de expansão do sistema radicular em busca de água e nutrientes.

Ao contrário do encontrado nesse estudo Bruun, *et al.* (2014), estudando um *Spodosol* (Espodossolo) arenoso com biocarvão, constatou que apenas 1% de biocarvão aumentou o

volume de raízes em até 64% em comparação ao controle na cultura da aveia. Estudo mais recente demonstrou que a combinação biocarvão, nitrogênio e fósforo aumenta o volume de raízes (Razaq *et al.*, 2017) assegurado melhor estabelecimento das suas funções.

Nos vegetais existe um balanço entre o sistema radicular e a parte aérea. O equilíbrio desse balanço é fundamental, pois as substâncias orgânicas produzidas pelas partes aéreas, nas regiões fotossintetizantes da planta, deslocam-se para baixo pelo floema para os tecidos de reserva da raiz. Esse equilíbrio pode ser prejudicado através de danos nas raízes reduzindo à região de absorção e diminuindo a oferta de água e nutrientes para a parte aérea, por outro lado, dano na parte aérea reduz a oferta de fotoassimilados e hormônios para as raízes (White, 2012).

Para a relação MSPA/MSR não houve diferença significativa para os fatores avaliados. Porém a relação entre as variáveis obteve média de 2,18 (Anexo 3), e de acordo com Caione *et al.* (2012), a relação ideal para mudas florestais deve ser próxima a 2,0. No entanto para pau-rosa não há indicação. Segundo Gomes *et al.* (2004), valores abaixo de 1 dessa relação refletem maior desenvolvimento radicular. Relação de 0,47 foi observado por Nunes (2010) em argissolo amazônico para 30% v/v de biocarvão no substrato e fertilização fosfatada básica para mudas de *Bertholletia excelsa*.

Carneiro (1995) recomenda que as raízes devam ser densas e a parte radicular e aérea têm que estar em correta proporção. A adequada relação, segundo este autor, foi considerada de 0,20 a 0,33, bem inferior aos resultados obtidos neste trabalho. Entretanto, Mexal e Dougherty (1981), demonstraram a importância da razão entre peso seco de raízes e da parte aérea em mudas florestais, obtendo que a sobrevivência e o crescimento das mudas foram maiores à medida que os valores desta razão aumentaram até 0,6.

Para a relação MSA/MSR o valor 2,0 foi convencionado como sendo o valor almejado para o equilíbrio entre o crescimento da parte aérea em relação à radicular (Gomes, 2002; Paiva, 2006).

Para a matéria seca total (MST), verificou-se comportamento semelhante das sessões isoladas. Pois a MST está diretamente ligada aos valores de MSPA e MSR, em ambos os casos foram encontrados aumento de biomassa seca na ausência de biocarvão (Tabela 10). Esses resultados corroboram com os obtidos por Dharmakeerthi *et al.* (2012), que encontraram maiores valores de biomassa seca total em concentrações mais baixas de biocarvão, no crescimento de mudas de *Hevea brasiliensis*. O valor médio de MST encontrados neste trabalho (11,41 g) está abaixo dos obtidos por Santos *et al.* (2013) (13,9 g),

acima dos obtidos por Simões *et al.* (2015) (6,63 g) e semelhantes aos observados por Nunes (2010) (11,39 g) sob condições semelhantes a este trabalho.

Tabela 12. Correlação de Pearson entre atributos do solo e parâmetros de crescimento do experimento para produção de mudas de pau-rosa.

| | Atributos do solo | | | | | | Parâmetros de crescimento | | | | | | | | | | | | |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|--------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------|-----|--|
| | BC | pH | SB | AL | AL+H | t | T | V% | m% | AP | DC | NF | MSPA | MSR | MST | MSR/MSPA | H/D | IQD | |
| BC | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| pH | 0,18 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SB | 0,90** | 0,16 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AL | -0,48** | -0,50* | -0,55** | - | | | | | | | | | | | | | | | |
| AL+H | 0,12 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | | | | |
| t | 0,89** | 0,07 ^{ns} | 0,98** | -0,38* | 0,11 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | | | |
| T | 0,77** | 0,15 ^{ns} | 0,85** | -0,46** | 0,63** | 0,83** | - | | | | | | | | | | | | |
| V% | 0,89** | 0,15 ^{ns} | 0,98** | -0,53** | -0,10 ^{ns} | 0,96** | 0,72** | - | | | | | | | | | | | |
| m% | -0,88** | -0,28 ^{ns} | -0,97** | 0,72** | -0,08 ^{ns} | -0,91** | -0,80** | -0,95** | - | | | | | | | | | | |
| AP | -0,06 ^{ns} | -0,23 ^{ns} | -0,05 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | -0,03 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | -0,09 ^{ns} | 0,09 ^{ns} | - | | | | | | | | | |
| DC | -0,20 ^{ns} | -0,13 ^{ns} | -0,21 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | -0,20 ^{ns} | -0,17 ^{ns} | -0,21 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | 0,36* | - | | | | | | | | |
| NF | 0,06 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | -0,07 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | 0,09 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | -0,03 ^{ns} | 0,33* | 0,29 ^{ns} | - | | | | | | | |
| MSPA | -0,19 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | -0,22 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | 0,18 ^{ns} | -0,22 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | -0,27 ^{ns} | 0,23 ^{ns} | 0,43* | 0,63** | 0,45** | - | | | | | | |
| MSR | -0,18 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | -0,27 ^{ns} | 0,24 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | -0,24 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | -0,29* | 0,30* | 0,36* | 0,66** | 0,34* | 0,72** | - | | | | | |
| MST | -0,20 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,24 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | 0,17 ^{ns} | -0,24 ^{ns} | -0,10 ^{ns} | -0,29* | 0,25 ^{ns} | 0,44* | 0,66** | 0,45** | 0,99** | 0,80** | - | | | | |
| MSR/MSPA | -0,15 ^{ns} | 0,07 ^{ns} | -0,14 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | 0,17 ^{ns} | -0,15 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | -0,18 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | 0,34* | 0,42** | 0,38* | 0,89** | 0,32 ^{ns} | 0,82** | - | | | |
| H/D | 0,07 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | 0,09 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | 0,17 ^{ns} | 0,09 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | 0,76** | -0,32* | 0,12 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | -0,10 ^{ns} | -0,03 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | - | | |
| IQD | -0,15 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | -0,21 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | -0,07 ^{ns} | -0,20 ^{ns} | -0,20 ^{ns} | -0,19 ^{ns} | 0,19 ^{ns} | -0,45* | 0,60** | 0,08 ^{ns} | 0,43* | 0,55** | 0,47* | 0,23 ^{ns} | -0,87** | - | |

**Significativo a 1 % ($p < 0,01$), *Significativo a 5% ($0,01 \leq p < 0,05$) e ns Não Significativo pelo Teste t de probabilidade. Informa-se que as correlações são lineares.

Tabela 13. Correlação de Pearson entre nutrientes do solo e parâmetros de crescimento do experimento para produção de mudas de pau-rosa.

| | Nutrientes do solo | | | | | | | | | | Parâmetros de crescimento | | | | | | | |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------|-----|
| | BC | Nt | P | K | Ca | Mg | Fe | Zn | Mn | AP | DC | Nf | MSPA | MSR | MST | MSR/MSPA | H/D | IQD |
| BC | - | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nt | 0,47** | - | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | -0,11 ^{ns} | -0,23 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | 0,95** | 0,48** | -0,09 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | | | | |
| Ca | 0,71** | 0,36* | -0,09 ^{ns} | 0,70** | - | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,49** | 0,50** | -0,33 ^{ns} | 0,59** | 0,46** | - | | | | | | | | | | | | |
| Fe | 0,00 ^{ns} | -0,07 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | |
| Zn | 0,14 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | - | | | | | | | | | | |
| Mn | 0,74** | 0,58** | -0,31 ^{ns} | 0,80** | 0,51** | 0,86** | 0,10 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | - | | | | | | | | | |
| AP | -0,06 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | -0,11 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | -0,12 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | 0,20 ^{ns} | 0,13 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | - | | | | | | | | |
| DC | -0,20 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | -0,09 ^{ns} | -0,23 ^{ns} | -0,19 ^{ns} | -0,05 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | -0,12 ^{ns} | 0,36* | - | | | | | | | |
| Nf | 0,06 ^{ns} | -0,10 ^{ns} | -0,22 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | 0,13 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 0,33 ^{ns} | 0,29 ^{ns} | - | | | | | | |
| MSPA | -0,19 ^{ns} | -0,13 ^{ns} | -0,14 ^{ns} | -0,21 ^{ns} | -0,31 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | 0,17 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | -0,03 ^{ns} | 0,43** | 0,63** | 0,45** | - | | | | | |
| MSR | -0,18 ^{ns} | -0,14 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,21 ^{ns} | -0,28 ^{ns} | -0,23 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,17 ^{ns} | 0,36* | 0,66** | 0,34 ^{ns} | 0,72** | - | | | | |
| MST | -0,20 ^{ns} | -0,13 ^{ns} | -0,12 ^{ns} | -0,22 ^{ns} | -0,31 ^{ns} | -0,05 ^{ns} | 0,17 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | 0,44** | 0,66** | 0,45** | 0,99** | 0,80** | - | | | |
| MSR/MSPA | -0,15 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | -0,19 ^{ns} | -0,15 ^{ns} | -0,24 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | 0,07 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,34* | 0,42** | 0,38* | 0,89** | 0,32 ^{ns} | 0,82** | - | | |
| H/D | 0,07 ^{ns} | 0,07 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 0,09 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | 0,76** | -0,32 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | -0,10 ^{ns} | -0,03 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | - | |
| IQD | -0,15 ^{ns} | -0,12 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | -0,20 ^{ns} | -0,15 ^{ns} | -0,18 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | -0,10 ^{ns} | -0,20 ^{ns} | -0,45** | 0,60** | 0,08 ^{ns} | 0,43** | 0,55** | 0,47** | 0,23 ^{ns} | -0,87** | - |

**Significativo a 1 % ($p < 0,01$), *Significativo a 5% ($0,01 \leq p < 0,05$) e ns Não Significativo pelo Teste t de probabilidade. Informa-se que as correlações são lineares.

4.3 Estado nutricional

A interação entre os fatores biocarvão (BC) e doses N foi significativa ($p < 0,05$) para K, Mn, e ($p < 0,01$) para Ca e Mg. Para as variáveis nas quais não se observou interação foram avaliadas isoladamente. Para Fator BC somente K, N e Fe, responderam de forma significativa a ($p < 0,01\%$). Com relação ao efeito isolado do fator N observou-se significância para N total ($p < 0,01$). As demais nutrientes não apresentaram significância (Anexo 4).

4.3.1 Efeito dos tratamentos na concentração de macronutrientes na planta (N, K, Ca, Mg)

Nitrogênio foliar

Para o N foliar não houve interação entre os fatores BC e N, porém foi observado diferença significativa ($p < 0,01$) para os mesmos fatores isoladamente. Os resultados referentes as doses de N foram maiores nas doses de 100 kg ha^{-1} e 200 kg ha^{-1} elevando aproximadamente 15% o valor de NF referente as doses mais baixas, independente da aplicação de biocarvão (Figura 9).

Neste sentido, ficou demonstrado o efeito das doses mais elevadas de N, que proporcionaram maior concentração de N nas folhas (Correlação positiva do N solo e N foliar, $r=0,55$) fato este também encontrado por Zhang *et al.* (2017), no cultivo de *Torreya grandis*.

Os resultados que indicam que a omissão de N, e/ou doses baixas reduz o conteúdo desse nutriente na parte aérea das mudas de pau-rosa, em parte corroboram com os encontrados por Marques *et al.* (2004), que trabalhando com o paricá (*Schizolobium amazonicum*) concluíram que a omissão de N reduziu o teor desse nutriente no caule e nas folhas quando comparado ao tratamento completo.

Considerando as concentrações foliares de macronutrientes dentro da faixa adequada para a espécie *Hevea brasiliensis* (Seringueira), (Malavolta et al. 1997). Verifica-se que as plantas de pau-rosa apresentam bem nutridas quanto aos elementos K e Ca, por outro lado as mudas apresentam-se deficientes quanto aos nutrientes N, Mg e P (Tabela xx).

Dentre os macronutrientes, o N apresentou boa concentração quando comparados com os demais (N foliar = $19,15 \text{ g kg}^{-1}$), nas folhas de pau-rosa. Possivelmente em função da grande importância deste elemento, como constituinte de

vários compostos orgânicos na planta (Epstein & Bloom, 2006). Esses resultados corroboram com aqueles encontrados por Barreto et al. (2007) e Leite et al. (2011).

As concentrações de N foliar encontrada nos tratamentos, apesar de não haver uma faixa de suficiência adequada para *Aniba rosaeodora*, apresentaram teores de N foliar (entre 17,78 e 20,53 g kg⁻¹) semelhantes aos valores encontrados por Krainovic (2011) em plantios de pau-rosa com 10 (21,4 g kg⁻¹) e 20 anos (21,3 g kg⁻¹) de idade.

O N é um fator fundamental na produção vegetal. As concentrações de nitrogênio em espécies florestais podem ser muito variáveis (Ferreira *et al.*, 2015). No estudo realizado por Gomes (2012), definiu que para plantas jovens de castanheira-do-brasil, a faixa de concentração foliares de N variaram de 10,7 a 17,05 g kg⁻¹.

Os nutrientes minerais possuem funções conhecidas, tais como auxiliar a fixação de nitrogênio, participar da síntese de clorofila e auxiliar as reações fotossintéticas. Essas funções são prejudicadas quando o suprimento do nutriente é inadequado ou insuficiente (Raven *et al.*, 2001). Os sintomas de deficiências minerais mais comumente verificados nas folhas, em todo o limbo foliar ou entre as nervuras são: clorose (aspecto amarelado das folhas devido à perda ou quantidade reduzida de clorofila (Raven *et al.*, 2001)) em aspecto uniforme (N, S, Fe).

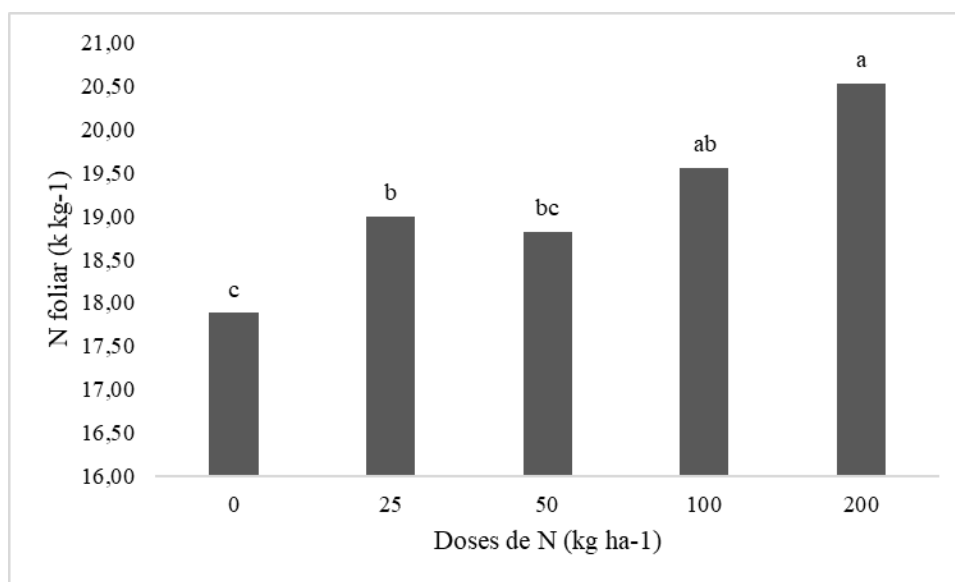


Figura 9. Teor de N foliar em função das doses de N, independente da aplicação de biocarvão, aos 150 dias após o transplante.

Potássio foliar

Para a concentração foliares de K, houve interação entre os fatores BC e N, foi observada que a presença de biocarvão aumentou concentração deste elemento na folha, independente das doses de N. Em contrapartida as doses de N reduziram os teores de K conforme o aumento das doses, independentes da aplicação do biocarvão (Tabela 12). Os elevadores teores de K nos tratamentos com a aplicação do biocarvão, podem estar relacionados a alta concentração desse nutriente em sua composição (Tabela 2). Gama 2019, ao avaliar o efeito do biocarvão e doses de N em mudas de castanheira, encontrou resultado semelhantes aos deste trabalho, onde a aplicação de biocarvão aumentou os teores desse nutriente nos tratamentos.

A concentração foliar de K para a cultura de pau-rosa varia substancialmente, sendo encontrados valores médios de $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ a $15,4 \text{ g kg}^{-1}$ (Krainovic, 2011). Kerbauy (2004) afirma que as concentrações foliares consideradas adequadas ao crescimento de espécies florestais gira em torno de 10 g kg^{-1} . Considerando esses valores, as concentrações de K foliar encontradas neste trabalho ($22,7 \text{ g kg}^{-1}$) são maiores do que o recomendado. Os elevadores teores de K nos tratamentos com a aplicação do biocarvão, podem estar relacionados a alta concentração desse nutriente em sua composição, que também elevaram os teores de K no solo (Tabela 2 e 7).

São escassos trabalhos com espécies clímax com o uso do biocarvão, entretanto, pesquisas com uso do biocarvão em espécie indicadoras como milho (Major *et al.* 2010), sorgo (Sigua *et al.* 2015), trigo (Albuquerque *et al.* 2013) e aveia (Schulz e Glaser 2012), são recorrentes e tem mostrado que há um incremento nas concentrações de vários nutrientes seja no solo e/ou na planta com o uso deste condicionador do solo. Por outro lado, Dharmakeerthi (2012) em experimento com enxerto em mudas de *Hevea brasiliensis* observou que não houve diferença significativa na concentração de K na presença de biocarvão.

Com relação as doses de N, verificou-se que os teores de K reduziram conforme o aumento das doses de N. Renó (1994) verificou que a omissão de N resultou em menores teores de K na parte aérea de cedro, indicando a influência do teor de N no substrato sobre a absorção e metabolismo de outros nutrientes.

A competição entre o N e o K foi observada por Santos (2006), que verificou que as mudas de mogno não apresentaram diferença significativa na absorção de macronutrientes em função das doses crescentes de N, com exceção da absorção de K

que foi favorecida pelas menores doses de N, observando redução na absorção de K para as maiores doses de N aplicadas no substrato.

Resultados semelhantes à interação entre N e K, foram observados por Tucci *et al.* (2002), que observaram respostas positivas em altura e em matéria seca da parte aérea à adubação nitrogenada na ausência potássica. Entretanto, na presença da potássica, não observaram mais resposta ao N. Para os autores a interação negativa tem sido atribuída ao efeito inibitório do nitrogênio pela aplicação de potássio.

Tabela 14. Médias dos valores de Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K) e Manganês (Mn) em função da interação de doses de N, na ausência e presença de biocarvão em solo para produção de mudas de pau-rosa.

| | Biocarvão (t ha ⁻¹) | N (kg ha ⁻¹) | | | | |
|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------|-----------|-----------|----------|
| | | 0 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| Ca (g kg ⁻¹) | 0 | 8,01 aA | 6,09 bA | 6,46 abA | 6,28 bA | 7,27 abA |
| | 20 | 5,48 bB | 7,19 aA | 7,50 aA | 6,54 abA | 6,47 abA |
| Mg (g kg ⁻¹) | 0 | 1,59 aA | 1,39 aB | 1,61 aA | 1,52 aA | 1,68 aA |
| | 20 | 1,35 bA | 1,87 aA | 1,76 aA | 1,68 abA | 1,58 abA |
| K (g kg ⁻¹) | 0 | 21,90 aA | 20,30 abB | 19,55 abB | 20,21 abB | 17,26 bB |
| | 20 | 23,41 aA | 24,77 aA | 26,21 aA | 26,18 aA | 23,91 aA |
| Mn (mg kg ⁻¹) | 0 | 112,02 aA | 106,64 abA | 95,95ab B | 84,78 bA | 87,48 bA |
| | 20 | 95,62 abA | 106,16 abA | 116,93 aA | 95,17 abA | 93,29 bA |

As médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Cálcio foliar

A fertilização nitrogenada aumentou a concentração foliar de Ca na ausência de biocarvão somente na dose mais alta (200 kg ha⁻¹). Por outro lado, observou-se diferenças significativas na combinação BC e N, que adicionalmente proporcionaram maior disponibilidade de Ca quando se comparou a disponibilidade na ausência e presença de biocarvão, com seus maiores valores nas doses intermediárias de 25 e 50 kg

ha⁻¹ (Tabela 12). Isso mostra a eficiência da aplicação do biocarvão para aumentar a disponibilidade de Ca quando associada a doses mais baixas de N. Essas concentrações de Ca foram semelhantes aos encontrados por Damaceno (2017) e Gama (2019) que estudaram o efeito nutricional com doses crescentes de biocarvão em mudas de castanheira.

A variação de Ca foliar nas mudas de pau-rosa foi de 5,48 a 8,10 g kg⁻¹. Esses valores parecem ser recorrentes para mudas de pau-rosa como encontrado por (Krainovic, 2011) com concentrações de 5,31 a 8,15 g kg⁻¹. Neste trabalho as concentrações foliares de Ca apresentaram baixa correlação os teores de cálcio no solo (tabela 19). Este fato deve-se provavelmente a baixa mobilidade deste elemento, não sendo facilmente distribuído (Hawkesford *et al.*, 2012) nas diferentes partes da planta (White e Broadley 2003).

Embora a adsorção de cátions como o K e o Ca seja característica inerente ao biocarvão (Lehmann 2007; Carvalho *et al.*, 2014), tal efeito não se relaciona diretamente com o aumento da eficiência do uso de tais nutrientes pela planta (Lima *et al.*, 2016). Associando-se biocarvão com P, Lima *et al.* (2016), observaram aumento da concentração desse nutriente em mudas de angico, fato corroborado neste estudo. Para da *A. rosaeodora* o cálcio teve correlação importantes apenas para o número de folhas NF (Tabela 16).

Magnésio foliar

Para Mg, houve interação entre os fatores BC e N. A aplicação das doses de N não afetaram significativamente os valores de Mg foliar. Já a aplicação de biocarvão foi significativa ($p < 0,01$) apenas na dose de 25,0 kg ha⁻¹, aumentando em aproximadamente 34% o teor de Mg em relação a ausência de biocarvão, independente das doses de N (Tabela 14).

Os menores valores de Mg trocáveis foram observados quando da aplicação de doses mais altas de N, também refletindo a acidificação provocada pela adubação nitrogenada. Segundo Pavan e Oliveira (1997), a aplicação de 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. Assim, os cátions básicos tornam-se mais facilmente lixiviados, resultando em menores teores de Mg nas maiores doses de N

aplicadas. Franchini *et al.* (2000) observaram redução nos teores de Mg do solo, na camada de 0–0,10m, quando cultivaram espécies exigentes em N.

Observando os altos teores de K nas mudas, principalmente em doses intermediárias de biocarvão, pode-se sugerir que o antagonismo promovido por esse nutriente ao Mg tenha desfavorecido a absorção deste (Malavolta *et al.*, 1997; Vitti *et al.*, 2006).

Em geral, o aumento do Mg foliar com o aumento das doses de biocarvão foi possivelmente promovida pelo aumento da disponibilidade desse nutriente no solo e respectivamente pela redução da acidez e o favorecimento da sua absorção pelas plantas (Lehmann, 2007; Carvalho *et al.*, 2014).

4.3.2 Efeito dos tratamentos na concentração de micronutrientes na planta (Fe e Mn).

Ferro foliar

Para Fe, não houve interação entre os fatores BC e N. Adicionalmente, na comparação ausência e presença de biocarvão, observa-se que houve decréscimo significativo ($p < 0,01$) na concentração de Fe nas diferentes doses na ordem de aproximadamente 18% (Figura 10).

De acordo com Van Zwieten *et al.* (2010), os teores de Fe foliares podem ser proporcionais aos teores desse elemento no biocarvão, fato observado aqui devido aos teores de Fe (575 mg kg^{-1}). Os valores gerais obtidos de Fe foliar entre 77,55 e $91,34 \text{ mg kg}^{-1}$, estão acima dos teores obtidos de Fe foliar encontrados por Krainovic (2011), em um plantio de pau-rosa entre 36,7 e $56,4 \text{ mg kg}^{-1}$, e acima dos obtidos por Corrêa (2013), entre 37,8 e $65,9 \text{ mg kg}^{-1}$ em para mudas de castanheira. É relevante destacar que de acordo com os níveis altos de Fe do solo, entre 140,52 e $143,80 \text{ mg kg}^{-1}$ corroboram os altos níveis foliares e indicam a não limitação desse nutriente.

A concentração foliar de Fe é produto da absorção e a capacidade de transporte pela planta pelos vasos condutores como o xilema, sendo que a absorção é dependente de vários fatores. Admite-se que o Fe é um cátion de baixa mobilidade. Sendo que essa mobilidade é afetada negativamente, por exemplo, altas concentrações de P, Mn e deficiência de K. Por outro lado a presença de bicarbonato no meio radicular reduz ainda mais a mobilidade do Fe nos tecidos das plantas. Isso permite inferir sobre a

maior concentração foliar encontrada deste elemento na planta, pois, como observado, o pH do solo foi mais ácido nos tratamentos sem biocarvão.

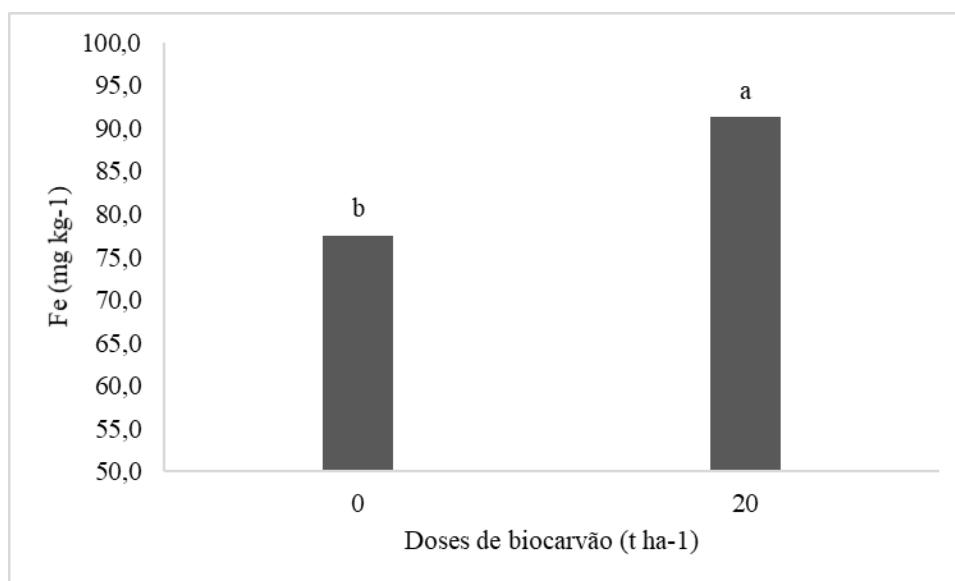


Figura 10. Teor de Fe foliar na ausência e presença de biocarvão, independente da dose de N aplicada, aos 150 dias após o transplântio.

Manganês foliar

Para Mn, houve interação significativa ($p < 0,05$) entre os fatores avaliados. A adubação nitrogenada alterou de forma significativa a concentração foliar de Mn, reduzindo conforme o aumento das doses de N, independentes da aplicação de biocarvão. Por outro lado, a avaliação entre presença e ausência de biocarvão não deferiu estatisticamente a concentração foliar de Mn, exceto para a dose de $50,0 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 14). As concentrações foliares de Mn estão dentro da faixa encontrados pelos autores (Rajj e Cantarella, 1997) para espécies florestais.

A concentração foliar de Mn é regulada pelo pH e principalmente pelo equilíbrio entre os outros cátions Fe e Ca. Na planta os cátions Fe e Mn tem uma relação de inibição competitiva, ou seja, a maior concentração de um promove a diminuição do outro (Twyman 1946). Trabalhando com biocarvão com a cultura da *Hevea brasiliensis* (Dharmakeerthi *et al.* 2012) observou que as concentrações foliares de Mn diminuíram e o autor atribuiu esse menor valor aos efeitos do pH providos pelo biocarvão.

De acordo com Dechen e Nachtigall (2006) os teores foliares adequados de Mn devem estar acima de 20 mg kg^{-1} nas plantas, assim verificados neste estudo (entre $87,48$ e $116,93 \text{ mg kg}^{-1}$) sugerindo-se não limitação desse nutriente.

Tabela 15. Correlação de Pearson entre nutrientes do solo e nutrientes foliares do experimento para produção de mudas de pau-rosa.

| | Nutrientes do solo | | | | | | | | | Nutrientes da planta | | | | | | | |
|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----|
| | BC | Nt | P | K | Ca | Mg | Fe | Zn | Mn | Nf | P | K | Ca | Mg | Fe | Zn | Mn |
| BC | - | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NT | 0,47** | - | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | -0,11 ^{ns} | -0,23 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | | | | |
| K | 0,95** | 0,48** | -0,09 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | | | |
| Ca | 0,71** | 0,36* | -0,09 ^{ns} | 0,70** | - | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,49** | 0,50** | -0,33 ^{ns} | 0,59** | 0,46** | - | | | | | | | | | | | |
| Fe | 0,00 ^{ns} | -0,07 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | - | | | | | | | | | | |
| Zn | 0,14 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | - | | | | | | | | | |
| Mn | 0,74** | 0,58** | -0,31 ^{ns} | 0,80** | 0,51** | 0,86** | 0,10 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | - | | | | | | | | |
| NF | -0,23 ^{ns} | 0,21 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | -0,21 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | - | | | | | | | |
| P | 0,03 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | 0,20 ^{ns} | -0,38* | -0,17 ^{ns} | -0,17 ^{ns} | -0,32 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | - | | | | | | |
| K | 0,61** | 0,28 ^{ns} | -0,10 ^{ns} | 0,56** | 0,46** | 0,26 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 0,42* | -0,16 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | - | | | | | |
| Ca | -0,02 ^{ns} | 0,07 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | -0,09 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | -0,03 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | 0,27 ^{ns} | - | | | | |
| Mg | 0,14 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 0,17 ^{ns} | 0,39* | 0,09 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,13 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | 0,25 ^{ns} | 0,59** | - | | | |
| Fe | 0,26 ^{ns} | 0,31 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | 0,25 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | -0,13 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 0,07 ^{ns} | 0,21 ^{ns} | 0,21 ^{ns} | 0,39* | 0,34 ^{ns} | - | | |
| Zn | 0,06 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,27 ^{ns} | -0,15 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | 0,29 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | 0,32 ^{ns} | 0,40* | 0,21 ^{ns} | - | |
| Mn | 0,11 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | 0,07 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | -0,09 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 0,34 ^{ns} | 0,47** | 0,44** | 0,26 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | - |

**Significativo a 1 % ($p < 0,01$), *Significativo a 5% ($0,01 \leq p < 0,05$) e ns Não Significativo pelo Teste t de probabilidade. Informa-se que as correlações são lineares.

Tabela 16. Correlação de Pearson entre nutrientes foliares e parâmetros de crescimento do experimento para produção de mudas de pau-rosa.

| | Nutrientes da planta | | | | | | | | | | Parâmetros de crescimento | | | | | | | |
|----------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------|-----|
| | BC | Nf | P | K | Ca | Mg | Fe | Zn | Mn | AP | DC | NF | MSPA | MSR | MST | MSR/MSPA | H/D | IQD |
| BC | - | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nf | -0,35* | - | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | 0,02 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | 0,62** | -0,03 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | | | | |
| Ca | 0,01 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,09 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | -0,05 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,058 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | | |
| Fe | 0,21 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | 0,09 ^{ns} | - | | | | | | | | | | | |
| Zn | 0,06 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | 0,31* | 0,10 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 0,19 ^{ns} | - | | | | | | | | | | |
| Mn | 0,14 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | - | | | | | | | | | |
| AP | 0,03 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | -0,10 ^{ns} | -0,19 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | -0,24 ^{ns} | -0,11 ^{ns} | - | | | | | | | | |
| DC | -0,17 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | -0,15 ^{ns} | -0,03 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | -0,07 ^{ns} | 0,36* | - | | | | | | | |
| NF | 0,14 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | -0,20 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,24* | 0,20 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | -0,20 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | 0,32 ^{ns} | 0,29 ^{ns} | - | | | | | | |
| MSPA | -0,12 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | -0,17 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | -0,09 ^{ns} | -0,22 ^{ns} | -0,03 ^{ns} | 0,43** | 0,63** | 0,45** | - | | | | | |
| MSR | -0,11 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | -0,07 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,20 ^{ns} | -0,12 ^{ns} | 0,37* | 0,67** | 0,34* | 0,71** | - | | | | |
| MST | -0,12 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,15 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | -0,23* | -0,30* | 0,44** | 0,66** | 0,45** | 0,99** | 0,80** | - | | | |
| MSR/MSPA | -0,09 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | -0,24* | 0,26 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,07 ^{ns} | -0,14 ^{ns} | -0,17 ^{ns} | -0,36* | 0,34 ^{ns} | 0,42** | 0,38* | 0,89** | 0,32 ^{ns} | 0,82** | - | | |
| H/D | 0,15 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | -0,10 ^{ns} | -0,03 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | -0,24* | -0,05 ^{ns} | 0,76** | -0,33* | 0,12 ^{ns} | -0,05 ^{ns} | -0,09 ^{ns} | -0,03 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | - | |
| IQD | -0,16 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | -0,03 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | -0,47** | 0,60** | 0,08 ^{ns} | 0,43** | 0,55** | 0,47** | 0,27 ^{ns} | -0,87** | - |

**Significativo a 1 % ($p < 0,01$), *Significativo a 5% ($0,01 \leq p < 0,05$) e ns Não Significativo pelo Teste t de probabilidade. Informa-se que as correlações são lineares.

5. CONCLUSÕES

Devido as características químicas, a utilização de biocarvão como condicionador de substrato é recomendável, pois em interação com doses de N, afetou positivamente nos atributos do solo, contribuindo para o aumento do pH, diminuição dos teores de Al e saturação por Al (m%), aumentou os índices de saturação por bases (V%) e soma de bases (SB), após 150 dias de avaliação, melhorando as características químicas do solo para a produção de mudas de pau-rosa.

As doses de biocarvão de forma isolada aumentaram as CTC's do solo, corroborando com a literatura, afirmando o potencial do biocarvão em reter cátions no solo. As doses crescentes de N de forma isolada não afetaram as propriedades químicas do solo, no entanto, recomenda-se o uso de doses mais baixas devido aos custos e a característica do N em acidificar o solo em doses altas.

O uso do biocarvão em interação com doses de N, não afetaram o crescimento das mudas de pau-rosa como esperado, influenciando apenas no número de folhas (NF), revelando que essa combinação não é ideal para esses parâmetros. Por outro lado, esses fatores avaliados de forma isolada, principalmente a aplicação de biocarvão, afetaram a maioria das características de crescimento e o acúmulo de matéria de seca, o que mostra o potencial do uso desse produto em sistemas de produção de mudas.

O índice de qualidade de Dickson não mostrou significância entre os tratamentos, por outro lado os valores ficaram acima de 1, enfatizado os benefícios da fertilização para a produção de mudas de pau-rosa, porém nenhuma dose de N foi apontada como ideal.

As concentrações foliares e K, Ca, Mg para macronutrientes e Mn para micronutrientes, tiveram aumentos significativos devido aos efeitos da interação entre o biocarvão e as doses de N, com os melhores resultados encontrados nas doses intermediárias de N. No entanto as concentrações foliares dos micronutrientes ferro e manganês tiveram seus valores afetados pelo BC e N de forma isolada.

Mediante o exposto, enfatiza-se a importância de estudos relacionados a produção de mudas de espécies florestais, afim de determinar as melhores alternativas para resultados mais expressivos relacionados as exigências nutricionais e qualidade de mudas de espécies de grande valor econômico, como o pau-rosa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, F. F. A. et al. 2011. Crescimento de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), submetidas a cinco níveis de sombreamento. *Revista Ceres*, v. 58, n. 6, p. 729-734.
- Aguilera, D. B. et al. 2004. Crescimento de *Siegesbeckia orientalis* sob diferentes condições de luminosidade. *Planta Daninha*, v. 22, n. 1, p. 43-51.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Setelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Köppen's. 2013. *Climate classification map for Brazil*. Meteorologische Zeitschrift, v. 22.
- Amado, T. J. C.; Mielniczuk, J.; AITA, C. 2002. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26(1) 241-248.
- Amazonas, D. R. 2012. *Variabilidade química e atividade antimicrobiana de espécimes indicados como pau-rosa (Aniba rosaeodora Ducke)*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do oeste do Pará. Santarém, Pará. 70 f.
- Anderson, C.R.; Hamonts, K; Clough, T.J.; Condrón, L.M.; Fiers, M.; Stewart, A.; Hill, R.A.; Sherlock, R.R. 2011. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. *Pedobiologia*, 54: 309 - 320.
- ARRUDA, M. R. et al. 2007. Enraizamento de estacas herbáceas de guaranazeiro em diferentes substratos. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 31, n. 1, p. 236-24.
- Baesso, M. M. et al. 2005. Determinação do nível de deficiência nutricional de nitrogênio no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) utilizando redes neurais artificiais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. Goiânia. INPE, p. 25-31.
- Baldochi, D.; Collineau, S. 1994. The physical nature of solar radiation in heterogeneous canopies: Spatial and temporal attributes. In: *Exploration of environmental heterogeneity by plants: Ecophysiological processes above and belowground*. Ed. Cadwell. M. M. & Pearcy, R. W. 21-71p.

Barroso, D. G.; Figueiredo, A. F. A. M. M. A.; Pereira, R. C.; Mendonça, A.V. R.; Silva, L. C. 2005. Diagnóstico de deficiências de macronutrientes em mudas de teca. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.671-679.

Beckmann, M. Z.; Duarte, G.; Burck, R.; Paula, V. A. 2006. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, v.36, n.1, p.86-92.

Beesley, L.; Jimenez, E. M., Gomez, L. E. J. 2010. Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. *Environmental Pollution*, 158: 2282-2287.

Benedetti, E. L.; Serrat, B. M.; Santin, D.; Brondani, G. E.; Reissmann, C. B.; Biasi, L. A. 2009. Calagem e adubação no crescimento de espinheira-santa [*Maytenus ilicifolia* (Schrad.) Planch.] em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v.11, n.3, p. 269-276.

Benincasa, M. M. P. 2003. *Análise de crescimento de plantas* (Noções básicas). 2ª ed. Funep. Jaboticabal, SP. 40p.

Benincasa, M. M. P. 1986. *Análise de crescimento de plantas* (Noções básicas). UEP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, Jaboticabal SP.41p.

Benites, V.M.; Madari, B.; Bernardi, A.C.C.; Machado, P.L.O. 2005. Matéria orgânica do solo. In:Wadt, P.G.S. (Ed.). *Manejo de solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre*. Embrapa Acre, Rio Branco, p. 93-120.

Bernadino, D. C. S.; Paiva, H. N.; Neves, J. C. L.; Gomes, J. M.; Marques, V. B. 2005. Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan em resposta à saturação por bases do substrato. *Revista Árvore* 29:863-870.

Bizzo, H. R.; Hovell, A. M. C.; Rezende, C. M. 2009. Óleos Essenciais no Brasil: Aspectos Gerais, Desenvolvimento e Perspectivas. *Química Nova*, v. 32, p. 588-594.

- Blevins, D. G. 1989. An overview of nitrogen metabolism in higher plants. In: POULTON, J. E.; ROMEO, J. T.; CONN, E. E. (Eds). *Plant nitrogen metabolism*. New York: Plenum Press, p. 234-256.
- Brady, N. C.; Weil, R. R. 2002. The nature and properties of soils. In: Brady, N. C.; Weil, R. R. *Nitrogen and sulfur economy of soils*. 482, p.524-575.
- BRASIL. Presidência da República – Subchefia para Assuntos Jurídicos. Decreto N° 3.607, de 21 de setembro de 2000. Dispõe sobre a implementação da Convenção sobre Comércio Internacional das Espécies da Flora e Fauna Selvagens em Perigo de Extinção – CITES.
- Caicedo, J. R.; Van der Steen, N. P.; Arce, O.; Gijzen, H. J. 2000. Effect of total ammonia nitrogen concentration and pH on growth rates of duckweed (*Spirodela polyrrhiza*). *Water research*, 34(15), 3829-3835.
- Campos, M. A. A. & Uchida, T. 2002. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 3, p. 281-288.
- Cantarella, H. 2007. Nitrogênio. In: Novais, R.F; Alvarez V., V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L.. (Org.). *Fertilidade do Solo*, vol. 1. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Minas Gerais. p.376.
- Cardoso, A. A. S. et al. 2016. Respostas nutricionais de mudas de sumaúma à adubação nitrogenada, fosfatada e potássica. Jaboticabal, *Científica*. v.44, n.3, p.421-430.
- Carneiro, J. G. de A. 1995. *Produção e qualidade de mudas florestais*. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campos: UNEF, 451p.
- Caron, B. O.; Schmidt, D.; Manfron, P. A.; Behling, A.; Eloy, E.; Busanello, C. 2014. Eficiência do uso da radiação solar por plantas *Ilex paraguariensis* cultivadas sob sombreamento e a pleno sol. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 257-265.

- Cavalcante, Í.H.L.; Rocha, L.F.; Silva Junior, G.B.; Falcão Neto, R.; Silva, R.R.S. 2011. Seedling production of gurguéia nut (*Dypterix lacunifera* Ducke) I: seed germination and suitable substrates for seedlings. *International Journal of Plant Production*, 5: 319-322.
- Chapin, F. S.; Bielecki, R. L. 1982. Mild phosphorus stress in barley and a related low-phosphorus-adapted barleygrass: *Phosphorus fractions and phosphate absorption in relation to growth*. *Physiologia plantarum*, 54(3), 309-317.
- CITES. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. Fifteenth Meeting of the Conference of the Parties Doha (Qatar), Cop15 Prop. 29, 13-25 March 2010.
- Claussen, J. W. 1996. Acclimation abilities of three tropical rainforest seedlings to an increase in light intensity. *Forest Ecology and Management*, v. 80, n. 1-3, p. 245-255. DOI: 10.1016/0378-1127(95)03606-7.
- Clough, T. J.; Condon, L. M. 2010. Biochar and the nitrogen cycle: Introduction. *Journal of Environmental Quality*, 39(4), 1218-1223.
- Clough, T. J.; Condon, L. M.; Kammann, C.; Müller, C. 2013. A review of biochar and soil nitrogen dynamics. *Agronomy*, 3(2), 275-293.
- Costa, L. C. B.; Almeida, A. F.; Valle, R. R. 1998. Crescimento, teor de clorofila e estrutura anatômica em plântulas de *Theobroma cacao* submetidas a diferentes irradiância e doses de nitrogênio. *Agrotrópica*, v. 10, n. 1, p. 21-30.
- Cruz, R.F. 2015. *Caracterização de matérias-primas e biochars para aplicação na agricultura*, Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 133p.

- Cunha, A.O.; Andrade, L.A.; Bruno, R.L.A.; Silva, J.A.L. e Souza, V.C. 2005. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impertiginosa* (Mart. Ex D.C.) Standl. *Revista Árvore*, 29:507-516.
- Cunha, R. J. P.; Haag, H. P. 1980. Nutrição mineral do mamoeiro (*Carica papaya* L.): V. Marcha de absorção de nutrientes em condições de campo. *Anais da ESALQ*, v.37, p.631-662.
- Damatta, F. M. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*, v. 86, p. 99-114.
- Dempster, D. N. 2013. *Biochar and the Soil Nitrogen Cycle: Unravelling the Interactions*. Doctoral dissertation, University of Western Australia. 193p.
- Dickson A.; Leaf, A. L.; Hosner, J. F. 1960. Quality appraisal of white spruce and White pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36:10-13.
- Dil, M. 2011. *The Effects of nitrogen-enriched biochar on maize (Zea mays) productivity and soil organic carbon*. Doctoral dissertation, University of Waterloo, Canadá. 136p.
- Duboc, N.; Vale, F. P. Davide, A. C. 1996. Nutrição do jatobá (*Hymenaea coubaril* L. var. *Stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang). *Cerne*, v. 2, n. 1 p. 138-152.
- Ducke, A. 1938. Lauráceas aromáticas da Amazônia brasileira. In: REUNIÃO SULAMERICANA DE BOTÂNICA, 1. Rio de Janeiro. Jardim Botânico, v. 3, p. 55-65. Estampas 1 e 2.
- Dutra, T. R. et al. 2012. Parâmetros fisiológicos de mudas de copaíba sob diferentes substratos e condições de sombreamento. *Ciência Rural*, v. 42, n. 7.
- Duz, S. R., Siminski, A., Santos, M., & Paulilo, M. T. S. 2004. Crescimento inicial de três espécies arbóreas da Floresta Atlântica em resposta à variação na quantidade de luz. *Revista Brasileira de Botânica*. v. 27, n.3, p. 587-596.

DUZ, S.R.; Siminski, A.; Santos, M.; Paulilo, M.T.S. 2004. Crescimento inicial de três espécies arbóreas da Floresta Atlântica em resposta à variação na quantidade de luz. *Revista Brasileira de Botânica*, v.27, n.3, p.587- 596.

EMBRAPA. 2009 *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Embrapa. Brasília. DF. BRASIL. 627pp.

EMBRAPA. 2013. Sistema Brasileiro de classificação de solos. Embrapa. Brasília. DF. BRASIL. 354p.

Epstein, E.; Bloom, A. 2006. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Editora Planta. 86p.

Fageria, N.K. 2008. *The use of nutrients in crop plants*. New York: CRC Press, 428p.

Farias, E. de S.; Venturin, N.; Carlos, L.; Garcia, M. B.; Higashikawa, E. M.; Macedo, R. L. G. 2010. *Requerimentos nutricionais de mudas de jacarandá-da-bahia (Dalbergia nigra (Vell.) Fr.All. ex Benth.)*. In: Congresso de pós-graduação da UFLA, 19., Lavras – MG. *Anais...* Lavras – MG.

Felfili, J. M. et al. 1999. Comportamento de plântulas de *Sclerolobium paniculatum* Vog. var. *rubiginosum* (Tul.) Benth. sob diferentes níveis de sombreamento, em viveiro. *Revista Brasileira de Botânica*. v. 22, n. 2, supl. 2, p. 297-301.

Felsemburgh, C. A. et al. 2016. Respostas ecofisiológicas de *Aniba parviflora* ao sombreamento artificial. *Pesquisa Florestal Brasileira, Brazilian Journal of Forestry Research*. 10p. ISSN: 1983-2605

Ferraz, J. B. S.; Barata, L. E. S.; Sampaio, P. T. B.; Guimarães, G. P. G. 2009. Perfumes da floresta Amazônica: em busca de uma alternativa sustentável. *Revista Ciência e Cultura*, 61: 40-43.

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.

Frigeri, R. B. C. 2007. *Relação entre raiz e parte aérea de plântulas de espécies arbóreas tropicais sob diferentes níveis de radiação solar*. 152f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas.

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.

Gajego, E. B. et al. 2001. Crescimento de plantas jovens de *Maclura tinctoria* e *Hymenaea courbaril* em diferentes condições de sombreamento. In: CONGRESSO NACIONAL DE FISILOGIA, 8. Ilhéus-BA. 6-29. CD-ROM.

Galloway, J. N.; Dentener, F. J.; Capone, D. G.; Boyer, E. W.; Howarth, R. W.; Seitzinger, S. P.; Karl, D. M. 2004. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry*, 70(2), 153-226.

Givnish, T. J. 1988. Adaptation to Sun and shade: A whole – plant perspective. *Australian Journal of Plant Physiology*, n. 15, p. 63-92.

Glaser, B.G.; Guggenberger, G.; Zech, W.; Ruivo, M.L. 2003. Soil Organic Matter Stability in Amazonian Dark Earths. In: Lehmann, J., Kern, D.C.; Glaser, B.; Woods, W.I. (Ed.). *Amazonian Dark Earths: origin, properties, management*. Kluwer Academic Publishers, Dondrecht, p.141-158.

Gloser, V.; Gloser, J. 1996. Capacidade de aclimação de *Calamagrostis epigejos* e *arundinaceae* C. às mudanças no ambiente de radiação (Em português). *Photosynthetica* 32: 202-212.

Gomes, E. S. 2012. *Influência de níveis de sombreamento no desenvolvimento de plantio juvenil de Pau-rosa (Aniba rosaeodora Ducke), na região Oeste do Pará*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Oeste do Pará, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia, Santarém, Pará. 69p.

Gonçalves, J. F. C. et al. 2012. Efeito do ambiente de luz no crescimento de plantas jovens de mogno (*Swietenia macrophylla* King). *Scientia Forestalis*, v. 40, n. 95, p. 337-344.

Gonçalves, J. F. C.; Silva, C. E. M.; Justino, G. C.; Nina Junior, A. R. 2012. Efeito do ambiente de luz no crescimento de plantas jovens de mogno (*Swietenia macrophylla* King). *Scientia Forestalis*, v. 40, n. 95, p. 337-344.

- Gonçalves, J. F. C.; Barreto, D. C. S.; Santos Junior, U. M.; Fernandes, A. V.; Sampaio, P. T. B.; Buckeridge, M. S. 2005. Growth, photosynthesis and stress indicators in young rosewood plants (*Aniba rosaeodora* Ducke) under diferente light intensities. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17: 325-334.
- Graber, E. R.; Meller-Harel, Y.; Kolton, M.; Cytryn, E.; Silber, A.; David, D. R.; Tsechansky, L.; Borenshtein, M.; Elad, Y. 2010. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and Soil*, 337: 481-496.
- Guiselini, C.; Sentelhas, P. C.; Pandorfi, H.; Holcman, E. 2010. Manejo da cobertura de ambientes protegidos: Radiação solar e seus efeitos na produção da gérbera. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.6, p.645-652.
- Hirel, B.; Tétu, T.; Lea, P.J.; Dubois, F. 2011. Improving nitrogen use efficiency in crops for sustainable agriculture. *Sustainability* 3:1452-1485.
- Homma, A. K. O. 2007. Extrativismo, biodiversidade e biopirataria: como produzir benefícios para a Amazônia. Brasília, *Embrapa Informação Tecnológica*. 97 p.
- Homma, A.K.O. 1994. Amazônia: Limites e Possibilidades. In: Sachs, I.; Clusener, M. (Eds). *Extrativismo na Amazônia Brasileira: Perspectiva sobre Desenvolvimento Regional*. Compêndio MAB 18 – UNESCO, Paris. p. 35-61.
- IBAMA 1992. Portaria N° 037/92-N, de 03 de abril de 1992. Lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Brasília, Brasil. (www.mma.gov.br). Acesso em 15/09/2017.
- Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet. 2009. *Normais climatológicas do Brasil 1961-1990*. Brasília, Inmet, 465 p.
- Ippolito, J. A.; Spokas, K. A.; Novak, J. M.; Lentz, R. D.; Cantrell, K. B. 2015. Biochar elemental composition and factors influencing nutrient retention. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology and Implementation*, pp. 944.

Jones, D. L.; Rousk, J.; Edwards-Jones, G.; DeLuca, T. H.; Murphy, D. V. 2012. Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. *Soil Biology and Biochemistry*, 45, 113-124.

Karhu, K; Mattila, T; Bergström, I; Regina, K. 2011. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 140, pp. 309-313.

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.

Krainovic, P. M.; Almeida, D.; Desconci, D.; Veiga Junior, Sampaio, P. T. B. 2017. Sequential Management of Commercial Rosewood (*Aniba rosaeodora* Ducke) Plantations in Central Amazonia: Seeking Sustainable Models for Essential Oil Production. *Forests.*, v. 8, p. 438.

Kramer, T.; Koslowski, T. 1979. *Physiology of woody plants*. New York, Academic. 811p.

Krause, G. H. et al. 2012. Photosynthesis, photoprotection, and growth of shade-tolerant tropical tree seedlings under full sunlight. *Photosynthesis research, Tempe.* v. 113, n. 1-3, p. 273-285.

Kubitzki, K.; Renner, S. 1982. Lauraceae I (*Aniba* and *Aiouea*). *Flora Neotropica*, New York, v. 31, n. 5, 125 p.

Larcher, W. 2000. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos, São Paulo. Editora Rima, 531pp.

Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7), 381-387.

Lehmann, J. et al. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, v. 249, n. 2, p. 343-357.

Lehmann, J.; Joseph, S. 2009. Biochar for Environmental Management: An Introduction. In: Lehmann, J.; Joseph, S (Eds). *Biochar for Environmental Management - Science and Technology*, 1nd edition. J. Lehmann and S. Joseph (eds.). Routledge.

- Lehmann, J.; Joseph, S. 2015. Biochar for Environmental Management: An Introduction. In: Biochar for Environmental Management. Earthscan. *Science and Technology*, 2da ed
- Leite, A. M. C.; Quisen, R. C.; Sampaio, P. T. B. 2001. Pau-Rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke Lauraceae): *Informações Sobre o Sistema de Plantio e o Manejo Sustentável da Espécie*. Embrapa Amazônia Ocidental, documentos 13. Manaus-AM: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 20 p.
- Lenhard, N. R. et al. 2013. Crescimento de mudas de pau-ferro sob diferentes níveis de sombreamento. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 43, n. 2, p. 178-186. DOI: 10.1590/S1983-40632013000200012.
- Li, H.; Dong, X.; da Silva, E. B.; de Oliveira, L. M.; Chen, Y.; Ma, L. Q. 2017. Mechanisms of metal sorption by biochars: biochar characteristics and modifications. *Chemosphere*, 178, 466-478.
- Lima, A. L. S. et al. 2010. Crescimento de *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang. e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae) sob diferentes níveis de sombreamento. *Acta Amazônica*, v. 40, n. 1, p. 43-48.
- Lima, J. D. et al. 2007. Efeito da intensidade da luz no crescimento de mudas de *Virola surinames* (Rol.) Warb. *Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias*, v. 13, n. 2, p. 39-45.
- Lima, J. D. et al. 2008. Efeitos da luminosidade no crescimento de mudas de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. (Leguminosae, Caesalpinoideae). *Acta Amazônica*, v. 38, n. 1, p. 5-10.
- Lima, S. L. et al. 2016. Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico. *Pesquisa Agropecuária brasileira. Brasília*, v.51, n.2, p.120-131.
- 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*, v.39, p.655-661.
- Locatelli, M.; Macêdo, R. S. de; Vieira, A. H. 2007. Avaliação de altura e diâmetro de mudas de cedro rosa (*Cedrela odorata* L.) submetidas a diferentes deficiências nutricionais. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 5, supl. 2, p. 645-647.

Lorenzi, H. 2002. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. 2. ed., v.2. Nova Odessa: PLANTARUM, 382p.

Luz, P. B. D.; Tavares, A. R.; Paiva, P. D. D. O.; Massoli, L. A. L.; Aguiar, F. F. A.; Kanashiro, S.; Landgraf, P. R. C. 2006. Efeitos de nitrogênio, fósforo e potássio no crescimento de *Rhapis excelsa* (thunberg) henry ex. rehder (palmeira-ráfia). *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, 30(3), 429-434.

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

Malavolta E.; Vitti G. C.; Oliveira S. A. 1997. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Potafos, Piracicaba.

Malavolta, E. 2006. *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo, SP, BRASIL. 638pp.

Malézieux, E., Bartholomew, D. P. 2003. Plant Nutrition. In: Bartholomew, D. P.; Paul, R. E., Rohrbach, K. G. (eds.). *The Pineapple-Botany, Production and Uses*. CABI Publishing. Honolulu. 5 p.

Marimon-Junior, B. H. et al. 2012. Produção de mudas de jiló em substrato condicionado com Biochar. *Comunicata Scientiae*, v. 3, p. 108-114.

Marques J. D. O.; Libardi P.; Teixeira W. G.; Reis A. M. 2004. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo, na região amazônica. *Acta Amazônica*. 34:145 –154.

Marques, A. S. J.; Varela, V. P.; Melo, Z. L.O. 1999. Influência da cobertura e do sombreamento do canteiro na germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de pau rosa (*Aniba rosaeodora*). *Acta Amazônica*, 29(2): 303-312.

Marques, C. A. 2001. Importância Econômica da Família Lauraceae Lindl. *Floresta e Ambiente*, v. 8, n. 1, p. 195-206.

- Marques, V. B. et al. 2006. Efeito de fontes e doses de nitrogênio sobre crescimento inicial e qualidade de mudas de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. Ex Benth.). *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.30, n.5, p.725-735.
- Marschner, H. 1997. *Mineral nutrition of higher plants*, 2. ed. San Diego: Academic Press.
- May, P.H.; Barata, L.E.S. 2004. Rosewood exploration in the Brazilian Amazon: Optins for sustainable production. *Economic Botany* 58(2). New York Botanical Garden. New York – US. pp. 257 – 265.
- Mendonça, A. V. R.; Nogueira, F. D.; Venturin, N.; Souza, J. S. 1999. Exigências nutricionais de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All (aroeira do sertão). *Cerne*, v.5, n.2, p.065-075.
- Mendonça, V. et al. 2003. Diferentes substratos e recipientes na formação de mudas de mamoeiro, Sunrise Solo“. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 127-130.
- MINOLTA CAMERA Co., Ltda. 1989. *Manual for chlorophyll meter SPAD 502*. Osaka, Minolta, Radiometric Instruments divisions. 22p.
- Mitja, D.; Lescure, J. P. 1996. Du bois pour du parfum: le bois de rose doit-ildisparaître. Pp. 93-102 *In: La forêt en jeu. L'extractivisme en Amazonie centrale*. Ed. L. Empereire. Éditions de l'Orstom, UNESCO.
- Morales, M. M.; Comerford, N.; Guerrini, I. A.; Falcão, N. P. S.; Reeves, J. B. 2013. Sorption and desorption of phosphate on biochar and biochar–soil mixtures. *Soil Use and Management*, 29(3), 306-314.
- Moura, R. G. 2001. *Estudos das radiações solar e terrestre acima e dentro de uma floresta tropical úmida*. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia. IMPE, São José dos Campos, 147p.
- Mukome, F. N. D. 2013. Use of chemical and physical characteristics to investigate trends in biochar feedstocks. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61: 2196-2204.

- Naz, M. Y.; Sulaiman, S. A. 2016. Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: A review. *Journal of Controlled Release*. 225: 109-120.
- Nguyen, T. T. N.; Xu, C. Y.; Tahmasbian, I.; Che, R.; Xu, Z.; Zhou, X.; Bai, S. H. 2017. Effects of biochar on soil available inorganic nitrogen: a review and meta-analysis. *Geoderma*, 288, 79-96.
- Nicoloso, F. T.; Zanchetti, F. e Garlet, A. 1999. Exigências nutricionais da grábia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride) em solo podzólico vermelho amarelo. *Ciência Rural*, 29(2):225-231.
- Nóbrega, Í. P. C. 2011. *Efeitos do Biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: Sequestro de carbono no solo*. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica do Lisboa, Lisboa. 46 p.
- 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.
- Novotny, E. H.; Hayes, M. H. B.; Madari, B. E.; Bonagamba, T. J.; Azevedo, E. R.; Souza, A.A .; Song, G.; Nogueira, C .M.; Mangrich, A. S. 2009. Lessons from the Terra Preta de Índio of the Amazon Region for the utilisation of charcoal for soil amendment. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 20: 1003-1010.
- Nunes, M. M. 2010. *Carvão vegetal como componente de substrato para produção de mudas de Castanheira-do-brasil (Bertholletia excelsa H. B. K.)*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 75 p.
- O'Brien J. A.; Vega A.; Bouguyon, E.; Krouk, G.; Gojon A.; Coruzzi G.; Gutiérrez, R. A. 2016. Nitrate Transport, Sensing, and Responses in Plants. *Mol. Plant*. 9, 837–856.

Ohashi, S.T.; ROSA, L. S. e MEKDECE, F.S. 2004. *Influência do diâmetro e da altura de cortadas cepas na brotação de Pau-rosa (Aniba rosaeodora Ducke)*. Rev. Ciênc. Agrár., 41:137-144.

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

Ohashi, S. T.; Rosa, L. dos S. 2004. Pau rosa *Aniba rosaeodora* Ducke. *Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia*, no. 4. Versão on-line ISSN 1679-8058.

Oliveira, A. M. G.; Calda, R. C. 2004. Produção de mamoeiro em função de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 26, n. 1, p. 160-163.

Oliveira, R. P. et al. 2005. *Mudas de citros*. Embrapa Clima Temperado, Pelotas. (Sistema de Produção, 1).

Pacheco, F. V. et al. 2013. Crescimento inicial de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex. Benth. (FABACEAE) e *Chorisia speciosa* A.St.-Hil (MALVACEAE) sob diferentes níveis de sombreamento. *Revista Árvore*, v. 37, n. 5, p. 945-953.

Petter, F. A.; Madari, B. E.; Silva, M. A. S.; Carneiro, M. A. C.; Carvalho, M. T. M.; Pacheco, L. P. 20012. Soil fertility and upland rice yield after biocarvão application in the Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, p.699-706.

Phares, R. E. 1964. *Mineral nutrition of forest tree seedlings*. Tese de doutorado, Iowa State University, EUA. 199p.

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*, n. 261, p. 1876–1884.

Portela, R. C. Q.; Silva, I. L.; Piña-Rodrigues, F. C. M. 2001. Crescimento inicial de mudas de *Clitoria fairchildiana* Howard e *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub em diferentes condições de sombreamento. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 163-170.

- Quesada, C. A.; Lloyd, J.; Schwarz, et al. 2010. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. *Biogeosciences*, 7: 1515–1541.
- Ramos, K. M. O. et al. 2004. Desenvolvimento inicial e repartição de biomassa de *Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Smith, em diferentes condições de sombreamento. *Acta Botânica Brasílica*, v. 2, n. 18, p. 351-358.
- Razaq, M.; Zhang, P.; Shen, H. L. 2017a. Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morphology of *Acer mono*. *PloS one*, 12(2), e0171321.
- Rego, G. M.; Possamai, E. 2006. Efeito do sombreamento sobre o teor de clorofila e crescimento inicial do *Jequitibá-rosa*. Colombo, *Revista Florestal Brasileira*. n. 53, p. 179-194.
- Renó, N. B. et al. 1997. *Limitações nutricionais ao crescimento inicial de quatro espécies arbóreas nativas em Latossolo Vermelho-Amarelo*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.32, n. 1, p.17-25.
- Rosa, L. dos S.; Ohashi, S. T.; Silva, A. S. da. 1999. Efeito da profundidade de semeadura na germinação de sementes de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, v. 31, p. 29-36.
- Rosa, L. dos S.; Sá, T. D. A.; Ohashi, S. T.; Barros, P. L. C.; Silva, A. J. V. 1997. Crescimento e sobrevivência de mudas de pau rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) oriundas de três procedências, em função de diferentes níveis de sombreamento, em condições de viveiro. *Boletim da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará*, n.28, p.37-62.
- 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 Ciências Agrárias*. 31:29-36.

Rosa, L. S.; Sá, T. D. A.; Ohashi, S. T.; Barros, P. L. C. & Silva, A. J. V. 1997. Crescimento e sobrevivência de mudas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) oriundas de três precedências, em função de diferentes níveis de sombreamento, em condições de viveiro. *Boletim da Faculdade Agrária do Pará*. 28:37-62.

Salgado, M. A. S. et al. 2001. Crescimento e repartição de biomassa em plântulas de *Copaifera langsdorfi* Desf. submetidas a diferentes níveis de sombreamento em viveiro. Brasília, *Brasil Florestal* n. 70.

Sampaio, P. T. B.; Barbosa, A. P.; Viera, G.; Spironello, W. R.; Bruno F. M. S. 2005. Biomassa da rebrota de copas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em plantios sob sombra parcial em floresta primária. *Acta Amazônica* 35: 491-494.

Sampaio, P. T. B.; Ferraz, I. D. K.; Camargo, J. L. C. 2003. *Manual de Sementes da Amazônia*. Fascículo 3: Pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke – Lauraceae). MCT/INPA/PPFA/JICA. Manaus, AM. 6p.

Sarcinelli, T. S.; Ribeiro Jr., E. S.; Dias, L. D.; Lynch, L. S. 2004. Sintomas de deficiência nutricional em mudas de *Acacia holosericea* em resposta à omissão de macronutrientes. *Revista Árvore*, v.28. n.2, p.173-181.

Sarruge, J. R. 1975. Soluções nutritivas. *Summa Phytopathologica*. Piracicaba, 1(3):231-233.

Scalon, S. de P. Q. et al. 2002. Crescimento inicial de mudas de espécies florestais nativas sob diferentes níveis de sombreamento. *Revista Árvore*, v. 26, n. 1, p. 1-5.

Schumacher, M. V. et al. 2013. Crescimento da acácia-negra em resposta a aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio. *Revista Cerne*, Lavras, v. 19, n. 1, p. 51-58.

Sena, J. S. 2008. *Effect of liming and correction of Ca and Mg in the soil on the growth of seedlings of Dinizia excels Ducke, Cedrela odorata L. and Swietenia macrophylla King.* Dissertação de Mestrado, Fundação Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 87p.

Silva, A. A. 2015. *Teor de nutrientes e crescimento de mudas de ipês em latossolo amarelo distrófico com adição e omissão de calcário e nutrientes*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Rondônia.

Silva, F. de A. S. e.; Azevedo, C. A. V. de. 2016. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *Afr. J. Agric. Res.*, v.11, n.39, p.3733-3740.

DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

Silva, R .F. et al. 2012. Crescimento e qualidade de mudas de Timbó e Dedaleiro cultivadas em solo contaminado por cobre. Campina Grande, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.* v. 16, n. 8, p. 881-886.

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*, n.8, p. 99 – 109.

Sorreano, M. C. M. 2006. *Avaliação da exigência nutricional na fase inicial do crescimento de espécies florestais nativas.* 296f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada), Piracicaba: Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz.

Sorreano, M. C. M.; Malavolta, E.; Silva, D. H. da; Cabral, C. P.; Rodrigues, R. R. 2011. Deficiência de macronutrientes em mudas de sangra d'água (*Croton urucurana*, Baill.). *Cerne*, v. 17, n. 3, p. 347- 352.

Sorreano, M. C. M.; Rodrigues, R. R. ; Boaretto, A. E. 2012. Guia de Nutrição para espécies Florestais Nativas. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos. v. 1. 256p.

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

Souza, C. S. C. R. et al. 2017. Biomassa, crescimento e respostas ecofisiológicas de plantas jovens de *bertholletia excelsa* bonpl. submetidas a diferentes níveis de irradiância. Santa Maria, *Ciência Florestal.* v 27. N. 2.19p.

Souza, C. A. S.; Tucci, C. A. F.; Silva, J. F. S.; Ribeiro, W. O. 2010. Exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.). *Acta Amazônica*, 40(3): 515-522.

Souza, C. R.; Lima, R. M. B.; Azevedo, C. P.; Rossi, L. M. B. 2004. Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. *Scientia Forestalis*, 36(77):7-14.

- Souza, G. K. A. et al. 2006. Growth of cajuru (*Arrabidaea chica* Verlot.) on different growing media. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Bo-tucatu, v. 8, n. esp., p. 62-65.
- Souza, P. A. de; Venturin, N.; Macedo, R. L. G. de; Venturin, R. P.; Tucci, C. A. F.; Carlos, L. 2009. Nutritional assessment of cedar seedlings (*cedrela fissilis*; vell.) grown in a greenhouse. *Cerne*, v. 15, n. 2, p. 236 – 243.
- 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*, v.291, p.275-290.
- SUDAM. 1972. Extrativismo do Pau-rosa (*Aniba ducke* Koster, *Aniba rosaeodora* Ducke). Aspectos sócio-econômicos: a silvicultura da espécie. *Documentos da Amazônia* 3(1/4):5-55.
- Tan, Z.; Ye, Z.; Zhang, L.; Huang, Q. 2018. Application of the ¹⁵N tracer method to study the effect of pyrolysis temperature and atmosphere on the distribution of biochar 68 nitrogen in the biomass–biochar–plant system. *Science of the Total Environment*, 622–623, 79.
- Tanaka, A. 1998. Ecofisiologia do estabelecimento de plântulas em plantios de enriquecimento em Novo Aripuanã. Dissertação de Mestrado INPA/UA. Manaus, Amazonas. 132p.
- Terra, S. B.; Ferreira, A. A. F.; Peil, R. M. N.; Stumpf, E. R. T.; Beckmann-Cavalcante, M. Z.; Cavalcante, Í. H. L. 2011. Alternative substrates for growth and production of potted chrysanthemum (cv. Funny). *Acta Scientiarum Agronomy*, 33: 465-471.
- Tiecher, T.; Rheinheimer, D. S.; Kaminski, J.; Calegari, A. 2012. Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36: 271-281.

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. de. 2010. Crescimento inicial de Pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em diferentes ambientes de fertilidade. *Acta Amazônica*, v. 40, n. 4, p. 693 – 698.

Verheijen, F. G. A.; Montanarella, L.; Bastos, A. C. 2012. Sustainability, certification, and regulation of biochar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, p.649-653. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000500003.

Vieira, A. N. 1972. Aspectos silviculturais do pau-rosa (*Aniba duckei* Kostermans). *Acta Amazônica*. Ano II, no.1

Vieira, C. R. 2011. *Crescimento inicial de espécies florestais na omissão de macronutrientes*. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 70p.

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

Whatley, J. M.; Whatley, F. R. 1982. *A luz e a vida das plantas*. São Paulo: EPU-EDUSP. 101p. (Temas de Biologia, 30).

Whitmore, T. C. 1990. An introduction to tropical rain forests, (revised end.) pp.226, Clarendon Press, Oxford.

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

Xu, G.; Fan, X.; Miller, A. J. 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual review of plant biology*, 63, 153-182.

Xu, G.; Sun, J.; Shao, H.; Chang, S. X. 2013. Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity. *Ecological engineering*, 62, 54-60.

Zanetti, M.; Cazetta, J. O.; Junior, D. M.; Carvalho, S. A. 2003. Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação de porta-enxerto limoeiro 'cravo' em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25:508-512.

Zhang, S.; Ma, K.; Chen, L. 2003. Response of photosynthetic plasticity of *Paeonia suffruticosa* to changed light environments. *Environmental and Experimental Botany*, v. 49, p. 121-133.

Zheng, W.; Sharma, B. K.; Rajagopalan, N. 2010. Using biochar as a soil amendment for sustainable agriculture. Illinois Department of Agriculture Sustainable Agriculture Grant's Research Report Series.

Zuidema, P. A. et al. 1999. Crecimiento de plantines de *Bertholletia excelsa* HBK em función de su tamaño y la disponibilidad de luz. La Paz, *Ecologia en Bolívia*. v. 33, p. 23-35.

ALVAREZ V, V.H.; RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5a. aproximação*. 1999. Viçosa, Minas Gerais. Disponível em:<<http://pt.scribd.com/doc/58701933/5%C2%AA-Aproximacao-Manual-de-Adubacoes-PDF>> Acesso em: 13 de jun. 2012.

CARVALHO, J. C. R.; SOUSA, C. S.; SOUSA, C. S. *Fertilização e fertilizantes*. 2005. Cruz das Almas, Bahia. Universidade Federal da Bahia. Escola de Agronomia. Depto de Química Agrícola e Solos. Disponível em:<http://www.ufrb.edu.br/nutricao/mineral/nmp_pg_09/Apostila%20fertilizantes%20e%20fertiliza%E7%E3o.pdf> Acesso em: 13 de Jun. 2012.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. *Interpretação da Análise do Solo - Conceitos e aplicações*. ANDA, São Paulo. Ed. atual. 2004. 51p. Boletim Técnico No 2.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E

FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. *Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 10ª ed. Porto Alegre, 2004. 400p.

ANEXO 1. Resumo da análise de variância dos atributos do solo.

| QUADRADOS MÉDIOS - SOLO | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|---------------------|-----------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Causas de Variação | G.L | pH H ₂ O | Al ³ | H+Al ³ | SB | t | T | m% | V% |
| Fator (BC) | 1 | 0,026700 * | 0,20008 ** | 0,135340 ns | 15,99430 ** | 12,61657 ** | 19,01644 ** | 5052,33542 ** | 1858,81537 ** |
| Fator (N) | 4 | 0,048310 ** | 0,041935 ** | 0,148185 ns | 0,1135475 ** | 0,0272425 ns | 0,0662375 ns | 104,083565 ** | 21,8395425 ** |
| N x BC | 4 | 0,0092775 ns | 0,004415 ns | 0,246795 ** | 0,069840 * | 0,0553125 ns | 0,167905 ns | 34,50720 ** | 17,952145 ** |
| Tratamento | 9 | | | | | | | | |
| Resíduo | 110 | 0,005103 | 0,00448 | 0,06771 | 0,02672 | 0,02738 | 0,10833 | 8,93702 | 3,18625 |
| Total | 119 | | | | | | | | |
| Media | | 4,92 | 0,92 | 5,40 | 1,57 | 2,49 | 6,97 | 37,71 | 22,34 |
| C.V % | | 1,45 | 7,32 | 4,82 | 10,39 | 6,65 | 4,72 | 7,93 | 7,99 |

** e * significativo a 1 e 5% pelo teste Tukey, respectivamente; ns: não significativo; F. V.: Fatores de Variação; G.L: Grau de liberdade; BC: biocarvão; N: Nitrogênio; BC x N: Interação biocarvão x nitrogênio; CV: Coeficiente de Variação.

pH : Potencial hidrogeniônico; **H + Al³**: Acidez potencial; **Al³⁺**: Acidez trocável; **SB**: Soma de bases; **t** : CTC efetiva ; **V%**: Saturação por bases; **M%**: Saturação por alumínio; **T**: Capacidade de troca potencial.

ANEXO 2. Resumo da análise de variância dos nutrientes do solo.

| QUADRADOS MÉDIOS - SOLO | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|--------------|-------------|--------------|------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| Causas de Variação | G.L | N | P | K | Ca | Mg | Fe | Zn | Mn |
| Fator (BC) | 1 | 0,38874 ** | 10,49656 ns | 6,12008 ** | 1,04161 ** | 0,23320 ** | 323,40834 ns | 1,07731 ns | 119,64027 ** |
| Fator (N) | 4 | 0,09004 ** | 2,918218 ns | 0,0076875 ns | 0,05611 ** | 0,0095475 ns | 207,96667 ns | 0,423075 ns | 1,0095625 ns |
| N x B | 4 | 0,0196975 ns | 5,72674 ns | 0,0031075 ns | 0,022855 * | 0,00566 ns | 414,19999 ns | 0,278245 ns | 0,28380 ns |
| Tratamento | 9 | | | | | | | | |
| Resíduo | 110 | 0,00817 | 6,69580 | 0,00585 | 0,00849 | 0,00613 | 204,37197 | 0,26534 | 0,85349 |
| Total | 119 | | | | | | | | |
| Media | | 1,36 | 6,36 | 0,38 | 0,85 | 0,34 | 142,16 | 2,96 | 4,65 |
| C.V % | | 6,66 | 40,63 | 20,18 | 10,81 | 22,87 | 10,06 | 17,39 | 18,86 |

** e * significativo a 1 e 5% pelo teste de Tukey, respectivamente; ns: não significativo; F. V.: Fatores de Variação; G.L: Grau de liberdade; BC: biocarvão; N: Nitrogênio; BC x N: Interação biocarvão x nitrogênio; CV: Coeficiente de Variação.

ANEXO 3. Resumo da análise de variância dos parâmetros de crescimento.

| QUADRADOS MÉDIOS - CRESCIMENTO | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------|---------------|-----------------|------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| Causas de Variação | G.L | Altura | Diâmetro | Nº Folhas | MSPA | MSR | MST | AP/DC | PA/R | IQD |
| Fator (BC) | 1 | 0,44409 ns | 0,86361 * | 0,83333 ns | 2,43071 * | 0,15223 ** | 3,03538 * | 0,08427 ns | 0,05547 ns | 2,03841 ns |
| Fator (N) | 4 | 9,365835 ** | 0,166885 ns | 0,885125 ns | 0,683075 ns | 0,069935 * | 1,089692 ns | 0,40459 ns | 0,0194675 ns | 3,185477 ns |
| N x B | 4 | 2,53908 ns | 0,307343 ns | 6,63021 * | 1,08739 ns | 0,032755 ns | 1,460215 ns | 0,15465 ns | 0,0342475 ns | 2,78588 ns |
| Tratamento | 9 | | | | | | | | | |
| Resíduo | 110 | 1,83431 | 0,16630 | 1,97817 | 0,47207 | 0,02246 | 0,65293 | 0,14788 | 0,02048 | 3,40233 |
| Total | 119 | | | | | | | | | |
| Media | | 9,22 | 3,79 | 7,87 | 7,82 | 3,58 | 11,41 | 2,44 | 2,18 | 2,65 |
| C.V % | | 14,69 | 10,75 | 17,88 | 8,78 | 4,19 | 7,08 | 15,78 | 6,55 | 69,89 |

** e * significativo a 1 e 5% pelo teste de Tukey, respectivamente; ns: não significativo; F. V.: Fatores de Variação; G.L: Grau de liberdade; BC: biocarvão; N: Nitrogênio; BC x N: Interação biocarvão x nitrogênio; CV: Coeficiente de Variação.

Matéria seca da parte aérea (MSPA), Matéria seca das raízes (MSR), Matéria seca total (PMST), relação altura e diâmetro do coleto (AP/DC), relação parte área e raiz (PA/R) e índice de qualidade de Dickson(IQD).

ANEXO 4. Resumo da análise de variância dos nutrientes na planta.

| QUADRADOS MÉDIOS - PLANTA | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------------|-------------|------------|--------------|-------------|-------------|----------------|--------------|---------------|--|--|
| Causas de Variação | G.L | N | P | K | Ca | Mg | Fe | Zn | Mn | | |
| Fator (BC) | 1 | 16,63586 ** | 0,00234 ns | 765,93374 ** | 1,03974 ns | 0,56170 ns | 5787,26852 ** | 3,78786 ns | 495,43355 ns | | |
| Fator (N) | 4 | 22,95982 ** | 0,02251 ns | 25,397027 ns | 1,14758 ns | 0,319527 ns | 1106,68913 ns | 13,783945 ns | 1729,37470 ns | | |
| N x B | 4 | 1,669178 ns | 0,00658 ns | 28,22576 * | 13,84534 ** | 0,556272 ** | 1277,770467 ns | 11,729095 ns | 1152,457397 * | | |
| Tratamento | 9 | | | | | | | | | | |
| Resíduo | 110 | 1,92231 | 0,01634 | 11,11255 | 2,21558 | 0,14087 | 642,67165 | 7,87407 | 436,93841 | | |
| Total | 119 | | | | | | | | | | |
| Media | | 19,15 | 0,53 | 22,37 | 6,73 | 1,6 | 84,45 | 14,72 | 99,40 | | |
| C.V % | | 7,24 | 24,21 | 14,90 | 22,12 | 19,4 | 29,97 | 19,07 | 21,03 | | |

** e * significativo a 1 e 5% pelo teste de Tukey, respectivamente; ns: não significativo; F. V.: Fatores de Variação; G.L: Grau de liberdade; BC: biocarvão; N: Nitrogênio; BC x N: Interação biocarvão x nitrogênio; CV: Coeficiente de Variação.