

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES.  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO

BIOCARVÃO E ADUBAÇÃO NITROGENADA INFLUENCIANDO O  
CRESCIMENTO E O ESTADO NUTRICIONAL DE MUDAS DE CASTANHEIRAS-  
DO-BRASIL EM UM LATOSSOLO DA AMAZÔNIA CENTRAL

ROMILDO TORRES DA GAMA

Manaus, Amazonas  
Fevereiro, 2018

ROMILDO TORRES DA GAMA

BIOCARVÃO E ADUBAÇÃO NITROGENADA INFLUENCIANDO O  
CRESCIMENTO E O ESTADO NUTRICIONAL DE MUDAS DE CASTANHEIRAS-  
DO-BRASIL EM UM LATOSSOLO DA AMAZÔNIA CENTRAL

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, como parte dos requisitos para obtenção de título de Mestre em ciências agrárias: Agronomia, com área de concentração em Agricultura no Trópico Úmido.

ORIENTADOR: NEWTON PAULO DE SOUZA FALCÃO, DR.

Manaus - Amazonas

Fevereiro, 2018



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,  
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO

### Folha de aprovação

A Banca Julgadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**TÍTULO:** "BIOCARVÃO E ADUBAÇÃO NITROGENADA  
INFLUENCIANDO O CRESCIMENTO E O ESTADO  
NUTRICIONAL DE MUDAS DE CASTANHEIRAS DO BRASIL  
EM LATOSSOLO DA AMAZÔNIA CENTRAL"

**AUTOR(A):**

ROMILDO TORRES DA GAMA

**BANCA JULGADORA:**

  
Dr. JOÃO BAPTISTA SILVA FERRAZ (INPA)  
(Membro)

  
Dr. RAPHAEL HENRIQUE DA SILVA SIQUEIRA (IFAM)  
(Membro)

  
Dr. AFRÂNIO FERREIRA NEVES JÚNIOR (UFAM)  
(Membro)

Manaus, 28 de Fevereiro de 2018

- T231 Gama, Romildo Torres da  
Biocarvão e adubação nitrogenada influenciando o crescimento e o estado nutricional de mudas de Castanheiras-do-Brasil em um Latossolo da Amazônia Central / Romildo Torres da Gama. - Manaus: [s.n.], 2018.  
84 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - INPA, Manaus, 2018.  
Orientador : Newton Paulo de Souza Falcão  
Programa: Agricultura no Trópico úmido
1. Biocarvão. 2. Adubação nitrogenada. 3. Castanheira-do-Brasil.  
I. Título.

CDD 634.575

Especialmente aos meus pais,

Raimundo e Alice,

Por me darem apoios em todos os momentos...

Às irmãs, Jeruza, Hosana, Demas e Sandra,

Aos Demais,

que ensinaram que o amor é tudo!!!

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e pelas vitórias alcançadas;

A minha família pelo apoio e em especial minha mãe Alice Torres e Minha irmã Jeruza Torres pelo incentivo e orações;

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia pela oportunidade;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido;

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

A Fazenda Aruanã pela parceria e as doações das mudas de castanheiras-do-brasil;

Ao Dr. Newton Paulo de Souza Falcão pela orientação;

A Dr<sup>a</sup> Danielle Monteiro de Oliveira pela colaboração na discussão do texto.

Aos técnicos do Laboratório Temático de Solos e Plantas Mozanei Porfirio da Trindade, Sandoval Moraes, Erison Gomes, Jonas Moraes, Laura Oliveira, Roberta Silva, Gabriela Carvalho e José Edivaldo Chaves;

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

Aos amigos do mestrado: Ana Cecília, Daniel Menezes, Felipe Padilha, Johnny Cedano, João Damaceno, Rodrigo Guimarães;

Aos amigos e colegas do Estado de Pará pelo incentivo mesmo que a distância.

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

## RESUMO

O biocarvão pode ser usado como condicionador do solo, contribuindo para a recuperação de áreas degradadas e aumentando a eficiência agronômica dos fertilizantes minerais e orgânicos. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito do biocarvão e doses de fertilizantes nitrogenados nas mudanças da fertilidade do solo, produção de biomassa e estado nutricional em mudas de *Bertholletia excelsa*. O experimento foi conduzido em casa de vegetação durante 210 dias no ano de 2017. Empregou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) em ensaio fatorial (2x4) com 4 repetições. Sendo os fatores, ausência e presença de biocarvão (0 e 40 t ha<sup>-1</sup>) e quatro doses crescentes de nitrogênio (0, 67,5, 135 e 270 kg ha<sup>-1</sup>), constituído 8 tratamentos (n=32). Utilizou-se como fonte de biocarvão ouriço de castanheira-do-brasil pirolisado à 500°C. O solo utilizado foi Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia central, retirado da camada subsuperficial (20-40 cm), sob uma floresta secundária. Utilizou-se mudas com idade de sete meses. Um mês após o transplântio foram mensurados o diâmetro a 3,0 cm do solo e a altura das plantas. De posse dessas medidas foram calculados os seguintes parâmetros: taxa de crescimento relativo em altura, taxa de crescimento relativo em diâmetro, taxa de crescimento absoluto em altura, taxa de crescimento absoluto em diâmetro, crescimento absoluto em altura e índice de qualidade de Dickson. Os valores de pH e os teores de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio aumentaram com a aplicação do biocarvão. Os teores dos micronutrientes aumentaram com as doses crescentes de N, com exceção do magnésio. As doses crescentes de N promoveram maior desenvolvimento da planta no ganho de peso da matéria seca da parte aérea. O biocarvão aumentou os valores do peso da matéria seca das raízes. 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 nitrogenada. Para a produção de mudas de castanheiras-do-brasil, nenhuma dose de N foi apontada como ideal. As concentrações foliares de fósforo não tiveram aumentos seja por efeito das doses crescente de N ou do BC. As concentrações foliares de Ca e dos micronutrientes ferro e magnésio tiveram seus valores afetados negativamente pelo BC. De modo geral os diversos parâmetros do solo e das plantas aumentam nos intervalos de 0 a 135 kg ha<sup>-1</sup> de N.

**Palavras-chave:** Biochar; *Bertholletia excelsa*, Solo da Amazônia central. Fertilização nitrogenada

## ABSTRACT

Biochar can be used as a soil amendment, contributing to the recovery of degraded areas and increasing the agronomic efficiency of mineral and organic fertilizers. The objective of this research was to evaluate the effect of biochar and nitrogen fertilizer doses on changes in soil fertility, biomass production and nutritional status in *Bertholletia excelsa* seedlings. The experiment was conducted in a greenhouse for 210 days in 2017. The experimental design was completely randomized (DIC) in a factorial test (2x4) with 4 replicates. The factors were - absence and presence of biochar (0 and 40 t ha<sup>-1</sup>) and four increasing doses of nitrogen (0, 67,5, 135 and 270 kg ha<sup>-1</sup>) and consisted of 8 treatments (n = 32). The pyrolysed brazil nut shell was used as a source of bio-fuel at 500°C. The soil used was a dystrophic Yellow Oxisols from Central Amazonia, removed from the subsurface layer (20-40 cm), under a secondary forest. Seedlings at the age of seven months were used. One month after transplanting, the diameter at 3,0 cm of the soil and the height of the plants were measured. The following parameters were calculated: relative height growth rate, relative diameter growth rate, absolute growth rate in height, absolute diameter growth rate, absolute height growth and Dickson quality index. pH values and nitrogen, phosphorus, potassium and calcium contents increased with the application of biochar. Micronutrient contents increased with increasing doses of N, except for magnesium. Increasing doses of N promoted greater development of the plant in the weight gain of the dry matter area. The biomass increased the dry matter weight of the roots. The quality index of Dickson did not show any significance among the treatments; on the other hand, the values were above 1, emphasizing the benefits of nitrogen fertilization. For the production of Brazil nut tree seedlings, no dose of N was indicated as ideal. Leaf phosphorus concentrations did not increase either because of increasing doses of N or BC. The foliar concentrations of Ca and iron and magnesium micronutrients had their values negatively affected by BC. In general, the various parameters of soil and plants increase in the intervals of 0 to 135 kg ha<sup>-1</sup> of N.

**Keywords:** Biochar; *Bertholletia excelsa*, Central Amazonia soil, Nitrogen fertilizer



**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1: A) Ouriço total, B) Biocarbonizador, C) Biocarvão. ....	14
Figura 2: Seleção das sementes (A), Quebra de dormência (B), Germinador-Berçario (C,D), mudas repicadas (D) e muda formada(F).....	19
Figura 3: Mistura do calcário + biocarvão (A) Vaso para o transplântio (B),raízes nuas (C) e mudas transplantadas (D). ....	19
Figura 4: Fluxograma das análises foliares. ....	21
Figura 5: Teor de N total no solo na ausência (B) e presença de biocarvão (A), independente da dose de N aplicada, aos 210 dias após o transplântio.....	28
Figura 6: Concentração de N em função da ausência (A) e presença de biocarvão (B), independente da dose de N aplicada, aos 210 dias após o transplântio.....	43
Figura 7: Concentração de K em função da ausência (B) e presença de biocarvão (A) independente da dose de N aplicada, aos 210 dias após o transplântio.....	47

### LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades químicas do biocarvão produzido a partir de ouriços de castanheira-do-brasil.....	14
Tabela 2: Características química e física do solo utilizado como substrato para a produção de mudas de castanheira, antes da calagem e adubação.....	15
Tabela 3: Descrição dos tratamentos sem biocarvão e com biocarvão. ....	17
Tabela 4: Características químicas do substrato utilizado para a produção de mudas de castanheira-do-brasil na fazenda Aruanã. ....	18
Tabela 5: Alguns Índices de crescimento das mudas avaliados.....	20
Tabela 6: Valores médio de pH em água do solo após a coleta do experimento. ....	23
Tabela 7: valores médio do atributo acidez potencial (H + Al) do solo após a coleta do experimento.....	24
Tabela 8: Equações de regressão ajustadas entre os componentes da acidez do solo em resposta à adição de doses crescentes de nitrogênio. ....	24
Tabela 9: Valores médios dos atributos soma de bases (SB), CTC efetiva (t), acidez trocável (Al <sup>3</sup> ) saturação por alumínio (m%) do solo após a coleta do experimento. ....	25
Tabela 10: Valores médios da capacidade de troca de cátion potencial (T) do solo após a coleta do experimento.....	26
Tabela 11: Valores médios do atributo percentagem de saturação por bases (V%) do solo após a coleta do experimento. ....	26
Tabela 12: Equações de regressão ajustadas entre os atributos indicadores de fertilidade (t, T, V% e m%) do solo em resposta à adição de doses crescentes de nitrogênio. ....	27
Tabela 13: Valores médios dos teores de fósforo, cálcio e magnésio do solo após a coleta do experimento.....	30
Tabela 14: Equações de regressão ajustadas entre o nitrogênio total, fósforo disponível e os cátions (Ca, Mg e K) do solo em resposta à adição de doses crescentes de nitrogênio. ....	31
Tabela 15: Valores médios dos teores de Mn, Fe e Zn do solo após a coleta do experimento. ..	31
Tabela 16: Equações de regressão ajustadas entre os teores dos micronutrientes (Fe, Zn e Mn) do solo em resposta à adição de doses crescentes de nitrogênio. ....	32
Tabela 17: Correlação de Pearson entre os atributos químicos e nutrientes do solo após experimento.....	34
Tabela 18: Valores médios dos parâmetros biométricos da taxa de crescimento relativo em altura (TCR-a), taxa de crescimento absoluto em altura (TCA-a) crescimento absoluto em altura (CA-a) e diâmetro (CA-d) após a coleta do experimento. ....	35
Tabela 19: Correlação de pearson das atributos do solo os parâmetros biométricos das mudas de castanheira-do-brasil após o experimento. ....	38
Tabela 20: Valores médios do Peso da matéria seca da parte aérea (PMSPA), Peso da matéria seca das raízes (PMSR) e relação da parte aérea e raiz após a coleta do experimento. ....	39
Tabela 21: Equações de regressão ajustadas entre os parâmetros biométricos da planta em resposta à adição de doses crescentes de nitrogênio. ....	41
Tabela 22: Correlação de pearson entre nutrientes do solo e os parametros biométricos das mudas de castanheira-do-brasil após o experimento.....	42
Tabela 23: Correlação de pearson dos nutrientes no solo e na planta das mudas de castanheira-do-brasil após o experimento. ....	45
Tabela 24: valores médios da concentração de potássio e cálcio na planta após a coleta do experimento.....	46
Tabela 25: Equações de regressão ajustadas entre as concentrações dos macronutrientes da planta em resposta à adição de doses crescentes de nitrogênio.....	48
Tabela 26: Valores médios da concentração de ferro e manganês na planta após a coleta do experimento.....	49
Tabela 27: Equações de regressão ajustadas entre as concentrações dos micronutrientes da planta em resposta à adição de doses crescentes de nitrogênio.....	50
Tabela 28: Correlação de pearson entre nutrientes da planta e os parametros biométricos das mudas de castanheira-do-brasil após o experimento.....	51

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1 Solos da Amazônia .....	4
2.1.1 Latossolos .....	4
2.2 Biocarvão .....	5
2.2.1 Biocarvão: Composição Química .....	6
2.2.2 Biocarvão no contexto dos atributos do solo .....	7
2.3 Adubos nitrogenados .....	8
2.4 Fertilização de mudas de castanheira-do-brasil .....	11
3. OBJETIVOS .....	13
3.1 Objetivo Geral: .....	13
3.2 Objetivos Específicos: .....	13
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	13
4.1 Local do experimento .....	13
4.2 Preparo e caracterização do biocarvão .....	14
4.2 Solo do experimento .....	15
4.3 Delineamento experimental .....	17
4.4 Instalação e condução do experimento .....	18
4.5 Análises quantitativas de crescimento .....	19
4.6 Biomassa seca da parte aérea e do sistema radicular das plantas .....	20
4.7 Análises química do solo após a coleta do experimento .....	20
4.8 Análises química de tecido vegetal .....	21
4.9 Análises dos dados .....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
5.1 Atributos do solo .....	22
Efeito dos tratamentos no pH <sub>(H<sub>2</sub>O)</sub> , na acidez trocável (Al <sup>+++</sup> ), acidez potencial (H <sup>+</sup> + Al <sup>+++</sup> ). .....	22
Efeito dos tratamentos na soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (t), capacidade de troca de cátion potencial (T). .....	25
Efeito dos tratamentos na percentagem de saturação por bases (V%) e na percentagem de saturação por alumínio (%m) .....	26
Efeito dos tratamentos nos teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Fe, Zn e Mn) no solo. ....	28
Efeito dos tratamentos nos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg). ....	28
Efeito dos tratamentos nos teores de micronutrientes (Fe, Zn e Mn) no solo. ....	31
5.2 Parâmetros alométricos e produção de biomassa seca .....	35
Efeitos dos tratamentos sobre as variáveis alométricas .....	35
Efeitos dos tratamentos sobre produção de biomassa seca .....	39
5.3 Estado nutricional .....	43
Efeito dos tratamentos na concentração de macronutrientes na planta (N,P,K,Ca) ...	43
Efeito dos tratamentos na concentração de micronutrientes na planta (Fe e Mn). ....	48
6. CONCLUSÕES .....	52
7. REFERÊNCIAS BIOGRÁFICAS .....	53
ANEXO 1: .....	70
ANEXO 2: .....	71
ANEXO 3: .....	72
ANEXO 4: .....	73

## 1. INTRODUÇÃO

Na última década, o Brasil tem assumido compromisso com o crescimento econômico sustentável a partir do uso criterioso dos recursos vegetais. Como parte desse esforço, espécies nativas e exóticas são estratégicas muito utilizadas para promover a recuperação de agroecossistemas e florestas, assim como a regularização ambiental e a sustentabilidade das áreas de preservação permanente e reservas legais. Os programas oficiais e institucionais, como Agricultura de Baixo Carbono (ABC), projeto biomas, cadastro ambiental rural (CAR), áreas protegidas da Amazônia (Arpa) e o bolsa verde, são alguns reflexos dessa etapa (Bacha 2005; Paixão e Bacha 2015).

O avanço da fronteira agrícola na Amazônia impulsionou uma migração e uma ocupação desordenada em grandes áreas de florestas primárias, com extensas áreas alteradas, exploração madeireira e formação de grandes áreas de pastagens (Velho, 1972; Homma *et al.* 2014). Para fortalecer os programas de reflorestamento e/ou a recuperação das áreas desmatadas, é fundamental escolher espécies com potencial econômico, social e ambiental. Em decorrência desse modelo de ocupação, inúmeras espécies nativas da Amazônia, como no caso da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*), foram eliminadas de forma desordenada, sem o mínimo critério preservacionista (Homma 2001; Almeida 2015).

Os Latossolos e os Argissolos são as unidades de solos predominantes na região Amazônica, caracterizados por apresentarem baixos teores de macronutrientes e micronutrientes essenciais para o crescimento e produção das plantas cultivadas, essas duas unidades de solos cobrem uma área de aproximadamente 360 milhões de ha<sup>-1</sup>, sendo equivalente a 74,7% da Amazônia (Vieira 1975; Sanchez 1982; Vieira 1988). Por outro lado, estudos desenvolvidos nos últimos quinze anos em comunidades agrícolas que cultivavam nas terras pretas de índio (TPI's), demonstraram que esses solos de

origem antrópica apresentam elevados níveis de fertilidade natural (Sombroek 1966; Falesi 1986; Sombroek 2003; Kern 2003; Falcão *et al.* 2003).

A permanência desse nível de fertilidade por longos anos nas TPI's é devido à elevada quantidade de biocarvão que proporciona uma alta estabilidade da matéria orgânica. O biocarvão conhecido internacionalmente como *biochar*, é um material sólido rico em carbono pirogênico, produzido em baixa temperatura através da biocarbonização dos resíduos orgânicos de origem animal e vegetal. Devido apresentar estrutura aromática, formada por grupos funcionais como ácidos carboxílicos e fenólicos, o biocarvão é química e biologicamente mais estável (recalcitrância) que a matéria orgânica (Glaser e Birk 2012).

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). Em solos com baixa capacidade de retenção de nutrientes, as fortes chuvas tropicais lixiviam facilmente os nutrientes minerais disponíveis e móveis, limitando a eficiência dos fertilizantes convencionais (Noguera *et al.* 2012). Sendo o mais utilizado, mais absorvido e o mais exportado pelas culturas, o N é o nutriente de obtenção mais cara, 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).

Devido a sua alta mobilidade no solo e sua conseqüente perda, o N deve ser fornecido às plantas na forma fracionada. Considerando que o biocarvão apresenta uma elevada área superficial específica e predominância de cargas negativas de superfície, o nitrogênio, tanto na forma amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) como na nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ) podem ser

adsorvido 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 (estrutura) do solo propiciando um ambiente favorável para o crescimento das raízes (Razaq *et al.*2017a; Xiang *et al.*2017).

O uso eficiente de nutrientes pelas espécies florestais nativas com adubação nitrogenada e biocarvão, ainda é um processo que seguramente há muitas lacunas (Phares 1964; Souza *et al.*2010; Dharmakeerthi *et al.*2012; Adams *et al.*2013; Williams *et al.*2016) e que certamente, o conhecimento do uso eficiente de nutrientes por estas espécies poderá dar um *insight* nos plantios de florestas econômicas, tanto para recomendação de adubação em sistemas de cultivos quanto para recuperação de área degradada.

O uso do biocarvão em espécie indicadoras como milho (Major *et al.* 2010), sorgo (Siga *et al.* 2015 ), trigo (Albuquerque *et al.* 2013) e aveia (Schulz e Glaser, 2012), tem mostrado que há um incremento nas concentrações de vários nutrientes seja no solo e/ou na planta. Entretanto, existe uma lacuna de trabalhos com biocarvão com espécies nativas da Amazônia. Pela primeira vez investiga-se os efeitos da adubação nitrogenada combinada com biocarvão em mudas de castanheira-do-brasil.

Tendo em vista a importância econômica da espécie e da adubação nitrogenada e o papel do biocarvão como condicionador do solo, o presente trabalho analisa o efeito da adubação nitrogenada nas mudanças na fertilidade do solo, no crescimento e estado nutricional em mudas de castanheira-do-brasil em latossolo da Amazônia central.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Solos da Amazônia**

A Amazônia brasileira possui superfície de 5.144.333 km<sup>2</sup>. Nesse espaço geográfico, os solos são divididos em terra firme e solos de várzea. Os solos de terra firme constituem 87% desse território e os demais são de áreas inundáveis em algum período do ano (Rodrigues 1996). Aproximadamente 14% dos solos de terra firme apresentam alta fertilidade ou solos eutróficos, ou seja, solos propícios para agricultura, incluindo os provenientes de áreas de várzea (Sanchez *et al.* 1982; Sanchez, 2017).

Os solos da Amazônia são derivados de rochas sedimentares e ígneas, resultando em solos com características distintas, como solos intemperizados, álicos, com baixa capacidade de retenção de cátions (K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> Mg<sup>2+</sup>) e, por conseguinte, baixa fertilidade (Rodrigues 1996; Macêdo e Rodrigues 2000; Palm *et al.* 2007; Quesada *et al.* 2011; Sanchez, 2017). As características desses solos são oriundas dos fatores e processo de formação, acarretando diferenças significativas na cor, porosidade, profundidade, capacidade de retenção de cátions, drenagem e fertilidade (Vieira e Santos 1987; Oliveira *et al.* 1992).

#### **2.1.1 Latossolos**

A principal classe de solo de terra firme da Amazônia é o Latossolo Amarelo (41,1%), apresenta horizonte diagnóstico B latossólico (Bw- Camada subsuperficial com uniformidade em estrutura, cor e textura). Na paisagem ocupa as partes mais altas e planas do relevo (Rodrigues 1996; Lepsch 2011, Santos *et al.*, 2013).

Possui como característica elevado estágio de intemperização, sendo a fração areia constituída praticamente por minerais resistentes a este processo, enquanto a

fração argila mostra predomínio de caulinita (Macêdo e Rodrigues 2000). De modo geral são solos profundos, que dominam as áreas de platô, com transições difusas, pelos quais vê-se poucos minerais intemperizáveis, com predomínio de argila do tipo 1:1 (caulinita), de pequena mobilização em profundidade (Wambeke *et al.*1987; Schaetzl *et al.*2005).

Em sua extensão são solos ricos em óxidos de ferro (hematita e goetita) e de alumínio (gibbsite), muitas vezes são solos álicos (com toxidez de alumínio) e ocorrem em regiões de precipitação torrenciais (acima de 2000 mm), derivados de sedimentos pobres (Sombroek 1966; Lepsch 2011).

## **2.2 Biocarvão**

Biocarvão é um material sólido rico em carbono pirogênico. É obtido a partir da conversão termoquímica de material orgânico de origem animal ou vegetal, com suprimento limitado de oxigênio (O<sub>2</sub>) e a temperaturas relativamente baixas (<700°C). Devido 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).

Os mecanismos pelos quais o biocarvão promove a adsorção e dessorção das espécies químicas ainda não foram são elucidados (Lehmann, J. 2007; Zheng *et al.* 2010; Li *et al.* 2017;) principalmente para o N (Tan *et al.*2018). De acordo com Zheng *et al.* (2010) os processos de adsorção e dessorção foram descoberta através do potencial zeta na qual revelou os grupos funcionais de superfícies e as ligação negativas no biocarvão. Potencial zeta é uma medida que expressa a magnitude da repulsão ou da atração eletrostática ou das cargas de superfícies entre partículas (Monte-Moran *et al.*



2004). O biocarvão possuem carga superficial e densidade de cargas negativas superiores em comparação com outros materiais orgânicos do solo (Liang *et al.* 2006; Lehman, 2007).

De acordo com Lehman Joseph (2009) os mecanismos de adsorção é baseada nos grupos funcionais (carboxílicos, lactona e lactol). Na superfície do biocarvão predomina cargas negativas em detrimento das positivas promovendo maior adsorção dos cátions (+) e anions (-) sendo as formas de nitrogênio  $\text{NH}_4^+$  retidos por atração eletrostática (ligação fraca) e  $\text{NO}_3^-$  retidos por ligação de hidrogênio não convencional na superfície do biocarvão (Mukherjee *et al.* 2011; Lawrinenko, 2014; Kammann *et al.* 2015; Joseph *et al.* 2018) contribuindo para aumentar a disponibilidade de N para as plantas (Zheng *et al.* 2010; 2012).

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 agronômica dos fertilizantes fosfatados (Xu *et al.* 2013; Morales *et al.* 2013; Agegnehu *et al.* 2017), diminuindo a perda de fertilizantes nitrogenados e potássicos mais solúveis, bem como estocar carbono no solo e ainda diminuindo a emissão de gases de efeito estufa através do estoque de carbono, controlando a lixiviação de metais pesados para o lençol freático, etc. (Lehmann e Joseph 2015).

### **2.2.1 Biocarvão: Composição Química**

As características e propriedades do biocarvão dependem da matéria prima utilizada e da temperatura de carbonização; o seu pH varia entre os diferentes tipos de biocarvão, sendo de caráter neutro (  $\text{pH} = 7$ ) e básico ( $\text{pH} > 7$ ) (Lehmann *et al.* 2009; Van

Zwieten *et al.* 2010; Guo *et al.* 2017; Gonzaga *et al.* 2017). A estrutura interna inerte do biocarvão semelhante ao grafite (Batson, 1993), faz com que esse material estoque e conserve o carbono no solo por centenas e até milhares de anos (Glaser e Birk 2012); sua estrutura periférica (externa) reativa (funcionalizada) atua como um colóide orgânico natural do ambiente (Jorio *et al.* 2012).

### **2.2.2 Biocarvão no contexto dos atributos do solo**

Sabe-se que o uso do biocarvão pode auxiliar no equilíbrio dessas interações e disponibilizar nutrientes retidos para a solução do solo, isso porque atua no complexo de trocas como um colóide, retendo nos micro e mesoporos de sua superfície nutrientes necessários ao crescimento e desenvolvimento vegetal (Glaser *et al.* 1998) favorecendo a fertilidade do solo por meio da alteração no pH do solo, maior retenção de nutrientes através da adsorção (Kuppusamy *et al.* 2016).

Com o biocarvão, algumas características do solo são melhoradas como retenção de água, agregação, arejamento, a elasticidade e a permeabilidade, assim como a sua capacidade de retenção de cátions (Lehmann 2003; Novotny *et al.* 2015).

A presença do biocarvão na mistura do solo tem uma contribuição significativa na natureza física do sistema, influenciando estrutura, porosidade e consistência, pois muda a densidade da área superficial, distribuição, densidade e tamanho das partículas e poros (Agegnehu *et al.* 2016; Oliveira *et al.* 2017) Esses efeitos físicos no solo têm um impacto direto no crescimento das plantas, pois a profundidade de penetração e a disponibilidade de ar e água na zona das raízes será muito maior comparado com os solos sem biocarvão (Van Zwieten *et al.* 2010; Hollister, 2011).

Estudos feito em solos de terra firme, da Amazônia Central, testando o efeito da combinação de pó de serragem e doses crescentes de resíduo de biocarvão (0, 40,

80,120 t ha<sup>-1</sup>) na rotação feijão caupi e milho, proporcionaram respostas significativas na redução da toxidez de alumínio, acréscimo nos teores de Ca, K e Mg disponíveis no solo e na produção de grãos e biomassa aérea do milho (Falcão e Comerford 2008; Falcão e Comerford 2009).

A aplicação de biocarvão tem demonstrado muitas vantagens, incluindo a melhoria da qualidade do solo e crescimento de plantas (Chan *et al.* 2007, Chan *et al.* 2008). Visando à recuperação de áreas degradadas, em experimento de campo, com aplicação de biocarvão misturado com fosfato natural e composto orgânico, mostrou que o biocarvão adsorveu parte dos nutrientes liberados pelo adubo orgânico e do fósforo liberado pelo fosfato natural afetando diretamente o crescimento das plantas (Falcão *et al.* 2007).

O biocarvão possui pH de caráter básico e cargas negativas, o que auxilia na neutralização do toxidez por alumínio e elevação dos teores de cálcio no solo (Falcão *et al.* 2013), bem como otimiza a eficiência de adubos em menor tempo, a exemplo do fosfato natural (Oliveira, 2012).

### **2.3 Adubos nitrogenados**

Os fertilizantes minerais são substâncias de fontes minerais, química ou petroquímica, usadas na agricultura, pois elas são fácil e rapidamente utilizados pelas as plantas em função de sua alta capacidade de solvência em meios aquosos. Sua principal função é 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).

O N assim como o carbono (C), hidrogênio(H) e oxigênio (O) estão entre os compostos mais exigidos pelas plantas. 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 (Amado *et al.* 2002; O'Brien *et al.* 2016), uma vez que o N não possuem fontes em rochas a exemplo do potássio.

O uso e aplicação de fertilizante nitrogenados aos solos é para fornecer nutrientes de alta solubilidade para as plantas cuja função é aumentar ou manter a produtividade. 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).

O N possui diferentes formas gasosas ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,) o que ocasiona constantes trocas, solubilidade elevada das formas inorgânicas, especialmente da forma nítrica ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ) altamente móveis no solo. Suas reações de transformação são mediadas por microrganismos (Xu *et al.* 2012). 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  $\text{N- NH}_3^-$  e  $\text{N- NH}_4^+$  (Caicedo *et al.* 2000). Nos solos ácidos tropicais como da Amazônia o  $\text{NH}_4^+$  é a forma predominante (Alfaia 1997a; Alfaia 1997b, Alfaia

*et al.* 2000; 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  $P_2O_5$ ).

Apenas uma proporção do total dos nutrientes contidos nos solos pode ser absorvida e utilizada pelas plantas. Esta proporção varia com o nutriente, e é afetada por uma série de fatores no solo, plantas e meio ambiente (Marschner *et al.* 2012). 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. A capacidade das espécies absorverem e utilizarem nutrientes minerais do solo deve ser entendida mais profundamente, 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 órgão de reservas.

A fertilização tem em vista suprir nutrientes que o solo não dispõe. Para a maioria das espécies cultivadas ou agrícolas, as demandas pelos nutrientes são largamente documentadas e conhecidas (Malavolta 2006). Entretanto, para as espécies

nativas os efeitos da fertilização na fase de mudas são contraditórios e com grande variação de concentração foliar (Costa *et al.* 2017). 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).

## **2.4 Fertilização de mudas de castanheira-do-brasil**

De acordo com Camargo (1999) em um experimento utilizado a técnica da omissão do elemento com mudas de castanheiras-o-brasil mostrou que a omissão dos nutrientes primários e secundário provocaram menor crescimento e a sintomatologia característica para cada nutriente (*E.g.*: "Menor desenvolvimento, menor ramificação, caules finos e cloróticos") Camargo *et al.*, 2002; Camargo *et al.* 2007). De acordo com essa autora, com a evolução do crescimento das plantas, os nutrientes mais limitantes para a cultura da castanheira-do-brasil foram nitrogênio, potássio e ferro.

O fosforo (P) é um dos nutrientes mais limitante para as vegetais. Correa (2013) em um experimento com castanheira-do-brasil em casa de vegetação combinou diferentes adubação. Foi notado que a fertilização fosfatada promove aumento nas taxas de crescimento absoluta em altura até duas vezes mais na comparação com o controle ( $3,1 \text{ cm mês}^{-1}$ ) e a maior média da combinação adubada ( $7,6 \text{ cm mês}^{-1}$ ), fato semelhante foi notado para a taxa de crescimento relativo em altura e diâmetro. Essa autora mostrou que a elevada plasticidade desta espécie sob a adubação fosfatada aumentou o desempenho fotossintético em virtude da concentração foliar do P, refletido na maior eficiência de captação e uso da energia solar.

Gomes (2012) investigou o efeito de diferentes combinações de adubação mineral em mudas castanheira-do-brasil em campo. Essa autora após nove meses notou

que a taxa de crescimento absoluta variou em torno de 3,1 a 3,5 cm mês<sup>-1</sup> e diâmetro não variou (1,1 mm mês<sup>-1</sup>). As concentrações foliares não teve correlação com a produção de biomassa nem nos atributos fisiológicos. Sugerido mais estudos com a adubação mineral para esta espécie.

Comparado os efeitos da adubação orgânica e mineral Ferreira (2015) em mudas castanheira-do-brasil sobretudo nos atributos de crescimento, estado nutricional e plasticidade fotossintética, após 240 dias de adubação este autor notou que as taxas de crescimento absoluta em diâmetro e altura variou de 0,2 a 2,4mm mês<sup>-1</sup> e 0,84 e 10,2 cm mês<sup>-1</sup>, respectivamente. Para o estado nutricional devido à alta plasticidade das raízes, a nutrição orgânica apresentou o maior ganho de concentração foliar na comparação com o controle. Na comparação com a adubação mineral com exceção do P e N, todos os macronutrientes apresentaram concentração foliar igual.

Avaliado o efeito residual de adubação fosfatada com biocarvão em castanheira-do-brasil, Damaceno (2017) mostrou que a concentração foliares são afetado positivamente. Este autor salienta que adubação fosfatada combinada com doses de biocarvão principalmente em torno de 40 t ha<sup>-1</sup> sobressaiu melhor em comparação com as demais doses (0, 20, 40, 60 e 80 t ha<sup>-1</sup>) sobretudo para o parâmetro de crescimento altura, biomassa e superfície radicular e índice de qualidade de Dickson.

Nota-se claramente que os principais estudo tem investigado a castanheira-do-brasil com resultados que sugerem novas pesquisas, principalmente quando se mostra eminente busca de novas tecnologias no processo de produção, especialmente aqueles que podem contribuir para o melhor desenvolvimento das mudas como o biocarvão e adubação nitrogenada.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral:**

Determinar a combinação adequada de biocarvão e fertilizantes nitrogenados para estimular o melhor desenvolvimento de mudas de castanheira-do-brasil, em Latossolo da Amazônia.

#### **3.2 Objetivos Específicos:**

- a) Determinar o efeito do biocarvão e doses de fertilizantes nitrogenados nas mudanças da fertilidade do solo.
- b) Determinar o efeito do biocarvão e de doses de fertilizantes nitrogenados nas características biométricas de mudas de castanheira-do-brasil.
- c) Determinar o efeito do biocarvão e de doses de fertilizantes nitrogenados no estado nutricional de mudas de castanheira-do-brasil.

### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **4.1 Local do experimento**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do campus III do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) localizada no município de Manaus, no Estado do Amazonas, Brasil. 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).



## 4.2 Preparo e caracterização do biocarvão

O biocarvão utilizado neste experimento foi obtido a partir da biocarbonização da biomassa seca de ouriços total de castanheira-do-brasil coletado da safra 2014/2015 da Fazenda Aruanã. A produção do biocarvão foi realizada em um biocarbonizador (Figura 1), da Coordenação de Pesquisa em Produtos Florestais (CPPF) do INPA.

O biocarbonizador é um forno refratário. Com a perspectiva de produzir um biocarvão com características corretivas, escolheu-se a temperatura de biocarbonização de 500°C, com tempo de residência de 30 minutos.



**Figura 1:** A) Ouriço total, B) Biocarbonizador, C) Biocarvão.

Antecipado o experimento o biocarvão foi fracionado e peneirado em malha de 2,00 mm, sendo as frações menores que 2,00 mm utilizada para análises química no laboratório da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” UNESP – *Campus* de Botucatu, sendo adotado como metodologia a análise de material orgânico (Raij *et al.* 2001). De acordo com a análise adotada o biocarvão apresentou as seguintes características químicas (Tabela 1).

**Tabela 1:** Propriedades químicas do biocarvão produzido a partir de ouriços de castanheira-do-brasil.

Parâmetros	Biocarvão
pH CaCl	9,1
N g kg <sup>-1</sup>	7,0
P g kg <sup>-1</sup>	0,6
K g kg <sup>-1</sup>	23,0
Ca g kg <sup>-1</sup>	6,0

Mg g kg <sup>-1</sup>	2,4
S g kg <sup>-1</sup>	1,4
Fe mg kg <sup>-1</sup>	575
Zn mg kg <sup>-1</sup>	25,0
Mn mg kg <sup>-1</sup>	265
Cu mg kg <sup>-1</sup>	28,0
Bo mg kg <sup>-1</sup>	41,0

## 4.2 Solo do experimento

O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico com textura argilosa (Santos *et al.*2013). Este solo foi coletado em uma área de capoeira, com aproximadamente 30 anos na Estação Experimental de Fruticultura Tropical do INPA, localizada nas coordenadas S 02°37'12'' W 060°02' 27'' no Km 45 da BR 174 do município de Manaus-AM.

Para a coleta fez-se a remoção dos 20 cm do *topsoil* com auxílio de enxadas manuais e descartadas. O solo de interesse foi retirado da profundidade camada subsuperficial de 20 cm a 40 cm do perfil, imediatamente colocado em sacos plástico do tipo ráfia e transportado para o campus III do INPA nas coordenadas geográficas (3°5'29" S e 59°59'37" WG). Sendo imediatamente peneirado (malha de 4 mm) e colocados em vasos plásticos de 20 dm<sup>3</sup>.

Antecipado a instalação do experimento, amostras de todos os vasos foram colocadas para secagem, e transformadas em terra fina seca ao ar (TFSA) para realização de análises e apresentou as seguintes características químicas (Tabela 2).

**Tabela 2:** Características química e física do solo utilizado como substrato para a produção de mudas de castanheira, antes da calagem e adubação.

pH H <sub>2</sub> O	N	K	Ca <sup>2++</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+ Al	t	T	SB
	--g/kg <sup>-1</sup>		-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup> -----						
4,45	0,77	0,02	0,05	0,08	0,90	1,65	1,06	1,8	0,15
V		M	Argila	Silte	Areia	P	Fe	Zn	Mn

-----%-----	-----%-----	-----mg kg <sup>-1</sup> -----
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.

As análises foram realizadas no laboratório temático de solos e plantas (LTSP) do INPA conforme descrição a seguir.

**pH em água:** Após adição de 25mL de água destilada em 10g de TSFA, fez-se a agitação com bastão de vidro por um minuto e descanso de 30 min. Após esse intervalo agitou-se novamente as amostras e em seguida determinou-se com a leitura direta do potenciômetro através da imersão do eletrodo na solução.

**Ca<sup>2+</sup>; Mg<sup>2+</sup>; Al trocável:** Foram extraídos em solução de KCl 1N. As análises deram-se em duas etapas: Extração e determinação. Para extração, pesou-se 5g de TSFA. Em seguida adicionou-se 50 mL de KCl 1N e pulsada em agitador horizontal por 15min com rotação de 300rpm e imediatamente filtradas. Concluída essa etapa, os extratos foram encaminhados para determinação (leitura) de **Ca<sup>2+</sup> Mg<sup>2+</sup>** em espectrofotometria de absorção atômica - EAA. Em outra fração o Al<sup>3+</sup> trocável foi determinado por titulação com extrato de NaOH com 0,025N e azul de bromotimol como indicador.

**K<sup>+</sup>:** O potássio foi determinado em solução duplo-ácida ou mehlich1 em suspensão de 10g de TSFA. O potássio trocável foi determinado pelo método de leitura direta no fotômetro de chama. Procedimento igual foi feito para Ferro (Fe), Zinco (Zn), Magnésio (Mg) e Manganês (Mn).

O Fósforo (**P**) recebeu o mesmo tipo de extração e sua determinação por colorimetria.

**Acidez potencial (H+Al):** A extração deu-se em solução de acetato de cálcio e a determinação por titulação.

N: O nitrogênio (N) no solo foi determinado pelo método semimicro Kjeldahl após digestão sulfúrica, destilação e titulação.

Portanto, as análises deste trabalho foram realizados conforme Silva *et al* (1999). Os elementos foram extraídos e determinados antes e após a retirada do experimento, seguindo a mesma metodologia.

### 4.3 Delineamento experimental

Empregou-se o desenho experimental inteiramente casualizado (DIC) em ensaio fatorial (2x4) com 4 repetições, totalizando 32 unidades experimentais. Sendo os fatores, ausência e presença de biocarvão (0 e 40 t ha<sup>-1</sup>) e quatro doses crescentes de N (0, 67,5, 135 e 270 kg ha<sup>-1</sup>). A escolha da dose do biocarvão adotado foi baseado em um estudo com mudas de castanheira-do-brasil com doses crescente de biocarvão e adubação fosfatada realizada por Oliveira (2017) no qual observou que as mudas tiveram um melhor desempenho na dose 40 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão.

As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos de 20 dm<sup>-3</sup> preenchidos com solo peneirado (4 mm). Todos os tratamentos receberam adubação complementar com fósforo (400 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo, com 45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), KCl (200 kg ha<sup>-1</sup> de Cloreto de Potássio, com 60% de K<sub>2</sub>O). Utilizou-se calcário dolomítico de poder relativo de neutralização total (PRNT) de 90%, contendo 32% de CaO e 14% MgO, sendo aplicado o equivalente a 3 t ha<sup>-1</sup>, visando diminuir a toxidez por Al<sup>3+</sup>, e elevar a saturação por bases a 60% e incrementar Ca e Mg ao solo. O prepara do solo consistiu na mistura do solo com biocarvão com as devidas proporções até completa homogeneização e obedecido um período de incubação de 2 meses.

**Tabela 3:** Descrição dos tratamentos sem biocarvão e com biocarvão.

Trat.	Biocarvão	Nitrogênio
-------	-----------	------------

	T ha <sup>-1</sup>	g / dm <sup>3</sup>	kg ha <sup>-1</sup> de ureia	kg ha <sup>-1</sup> de N	g / vaso de N
1	0	0	0	0	0
2	0	0	150	67.5	0,82
3	0	0	300	135	1,65
4	0	0	600	270	3,3
5	40	400	0	0	0
6	40	400	150	67.5	0,82
7	40	400	300	135	1,65
8	40	400	600	270	3,3

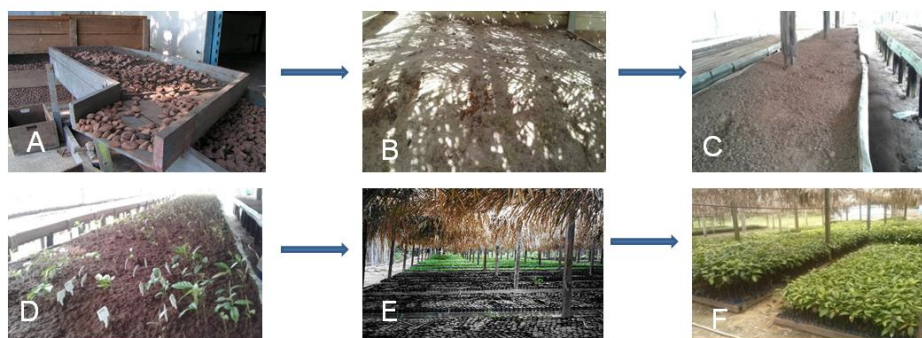
#### 4.4 Instalação e condução do experimento

As mudas utilizadas neste trabalho foram concedidas pela Empresa Agropecuária Aruanã S.A, localizada nas coordenadas 03°0'30.63"S e 58°50'1.50"W 27'' no Km 213 da AM-010 do Município de Itacoatiara (AM). O Sistema de produção de mudas Aruanã consiste nas etapas (Figura 2) escolha das sementes, quebra de dormência e berçário e finalmente repicagem para o substrato que possuem as seguintes características químicas (Tabela 4).

**Tabela 4:** Características químicas do substrato utilizado para a produção de mudas de castanheira-do-brasil na fazenda Aruanã.

pH (H <sub>2</sub> O)	N	K	Ca <sup>2++</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+ Al	t	T	SB
	--g/kg <sup>-1</sup> --	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							
3,92	2,13	0,02	0,15	0,04	2,25	8,68	2,46	8,88	0,20
	V	m	P	Fe	Zn	Mn			
	-----%-----		-----mg kg <sup>-1</sup> -----						
	2,31	91,60	8,97	153,18	1,95	3,10			

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.



**Figura 2:** Seleção das sementes (A), Quebra de dormência (B), Germinador-Berçario (C,D), mudas repicadas (D) e muda formada(F).

As mudas foram transportadas em carro aberto para o campus III do INPA, sendo deixado um período de 60 dias de aclimação em casa de vegetação. As mudas foram padronizadas por idade de 7 meses e apresentavam média de 24.34 cm de altura, 2.84 mm de diâmetro do coleto e 4.8 folhas. Após essa etapa, as mudas foram repicadas para os vasos na forma de raiz nua (Figura 3).



**Figura 3:** Mistura do calcário + biocarvão (A) Vaso para o transplante (B), raízes nuas (C) e mudas transplantadas (D).

#### 4.5 Análises quantitativas de crescimento

Foram mensuradas a altura das plantas, desde o colo até o ápice, com régua e o diâmetro do caule das plantas, medidas a 3 cm do solo, utilizando-se de um paquímetro digital STARRET® (0 - 150 mm). As avaliações foram realizadas ao 0 e 210 dias após o plantio.

De posse de todas essas variáveis das plantas, foram calculadas outras medidas alométricas indispensáveis para observar o crescimento em funções das doses: taxa de crescimento relativo em altura, taxa de crescimento relativo em diâmetro, Taxa de

crescimento absoluto em altura, taxa de crescimento absoluto em diâmetro, crescimento absoluto em altura realizados de acordo com Bugbee (1996), Davanso *et al.* (2002) e Índice de qualidade de Dickson (Dickson *et al.* 1960) (Tabela 5).

**Tabela 5:** Alguns Índices de crescimento das mudas avaliados

Variável	Equação	Unidade
Taxa de crescimento relativo em altura (TCR-a)	$TCR-a: (\ln A_2 - \ln A_1) / (t_2 - t_1)$	$cm\ cm^{-1}\ mês^{-1}$
Taxa de crescimento relativo em diâmetro (TCR-d)	$TCR-d: (\ln D_2 - \ln D_1) / (t_2 - t_1)$	$mm\ mm^{-1}\ mês^{-1}$
Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA-a)	$TCA-a: A_2 - A_1 / t_2 - t_1$	$cm\ mês^{-1}$
Taxa de crescimento absoluto em diâmetro (TCA-d)	$TCA-d: D_2 - D_1 / t_2 - t_1$	$mm\ mês^{-1}$
Crescimento absoluto em altura (Ca)	$CA = A_2 - A_1$	cm
Crescimento absoluto em diâmetro	$CA = d_2 - d_1$	mm
Índice de qualidade de Dickson (IQD)	$IQD = MST / (AP/DC) + (MSPA/MSR)$	

Sendo:  $A_2$ : altura mês posterior;  $A_1$ : altura inicial, Ln: logaritmo neperiano,  $D_2$ : diâmetro no mês posterior;  $D_1$ : diâmetro inicial;  $T_2$ : mês posterior;  $T_1$ : tempo inicial experimental (i plantio). MST - Matéria Seca Total (g) AP - Altura da Planta (cm) DC - Diâmetro do Caule (mm) MSPA - Matéria Seca da Parte Aérea (g) MSR - Matéria Seca das Raízes (g)

#### 4.6 Biomassa seca da parte aérea e do sistema radicular das plantas

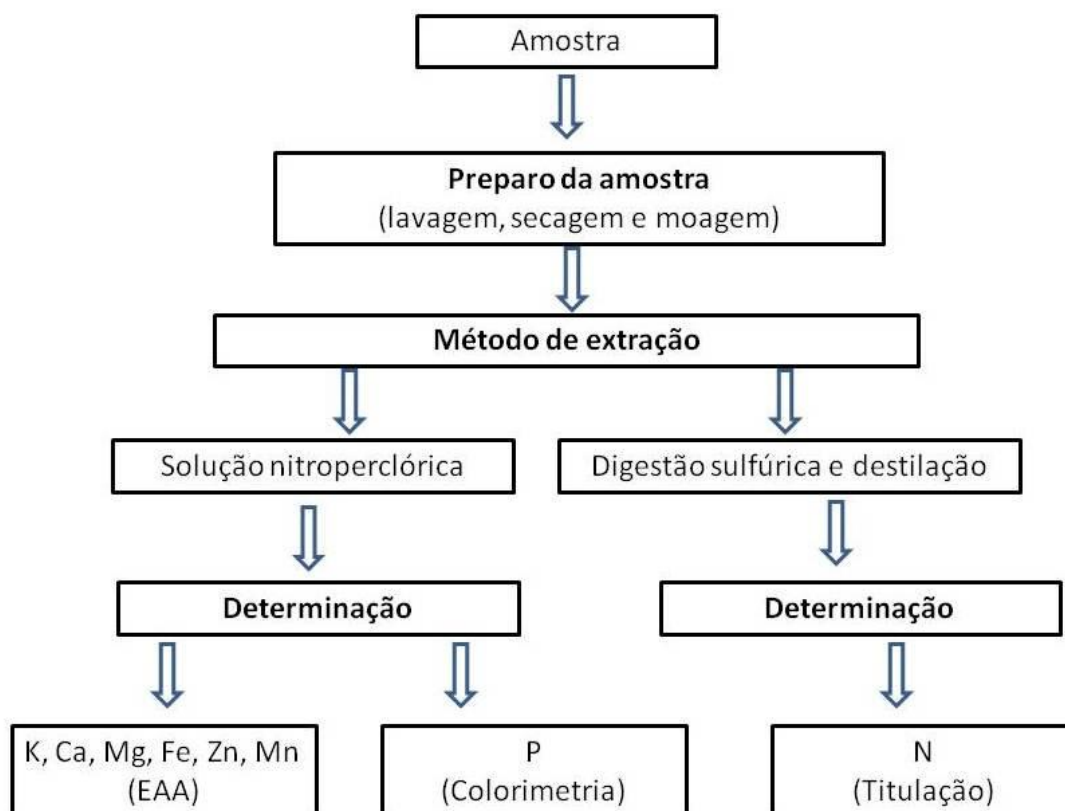
Após 210 dias de experimento, todas as plantas foram cortadas e suas partes separadas em folhas, caule e raiz, as quais foram pesadas a massa fresca e seca das respectivas partes em estufa 65°C com circulação forçada de ar até a obtenção do peso constante para determinação da biomassa seca da parte aérea e do sistema radicular.

#### 4.7 Análises química do solo após a coleta do experimento

Para aferir as mudanças da fertilidade do solo após o experimento foram coletadas três subamostras simples por unidade experimental na forma triangular de cada vaso para formar a amostra composta (Malavolta, 1980). O solo foi colocado para secar e transformadas em terra fina seca ao ar (TFSA). As análises foram realizadas no LTSP do INPA.

#### 4.8 Análises química de tecido vegetal

Para avaliação do estado nutricional foram coletadas amostras foliares conforme metodologia descrita por Sarruge e Haag (1974). Foram coletadas as folhas 3, 4 e 5 a partir do broto terminal. Após a coleta das folhas foram lavadas em água destilada e seca em 63°C por 72 horas. Foram moídas em moinho (tipo willey) de facas e peneira de 20 mesh e moinho de bola e imediatamente armazenada em saco papel. As análises químicas para determinação da concentração de macro e micronutrientes foram realizadas conforme o mostra o fluxograma (Figura 4).



**Figura 4:** Fluxograma das análises foliares.

Todas as análises químicas de tecido vegetal foram realizadas de acordo Silva *et al* (1999) no LTSP do INPA, Manaus-AM.



#### **4.9 Análises dos dados**

Os dados coletados foram submetidos a análises da variância (ANOVA), detectados diferenças significativas dos tratamentos, foram aplicados o teste Tukey (5%) com auxílio do programa Assistat 7.7. (Silva e Azevedo 2016). Além disso, foram feitas análises de regressão e correlação com auxílio do software genes.

### **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A interação entre os fatores biocarvão (BC) e doses de N foi significativa ( $p < 0,05$ ) para pH, acidez potencial ( $H+Al$ ) saturação por bases (V%) e CTC potencial (T) ( $p < 0,01$ ). Para as variáveis nas quais não observou-se interação foram aplicadas análises isoladas. Para Fator biocarvão todos os atributos foram significativos ( $p < 0,01$ ). As demais variáveis não apresentaram significância (**Anexo 1**).

#### **5.1 Atributos do solo**

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

A adubação nitrogenada, na ausência de biocarvão, promoveu a acidificação do solo (Rader, *et al.* 1943), de modo linear em função do aumento das doses de N (Tabela 8), o mesmo não aconteceu para os tratamentos que receberam biocarvão até a dose de  $135 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. A adição de biocarvão influenciou de forma positiva e significativa os valores de pH do solo, independente das doses de N aplicadas (Tabela 6). Esses resultados ratificam o potencial das cinzas contidas no biocarvão, como corretivo da acidez do solo, através das substâncias carbonatadas, diminuindo a concentração de hidrogênio e alumínio no solo (Yuan *et al.* 2011).

**Tabela 6:** Valores médio de pH em água do solo após a coleta do experimento.

Atributo	Biocarvão	-----N (kg ha <sup>-1</sup> )-----			
	(t ha <sup>-1</sup> )	0	67,5	135	270
pH	0	5,71bA	5,48bA	5,41bBA	4,94bB
	40	6,39aA	6,57aA	6,60aA	5,50aB

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

Aplicando doses crescentes de biocarvão (0, 20, 40, 60, 80 t ha<sup>-1</sup>), Oliveira (2017) e Damaceno (2017) também verificaram o aumento do pH<sub>(H2O)</sub> de um Latossolo Amarelo independente da fertilização. Alguns autores reportam que o efeito no aumento do pH<sub>(H2O)</sub> foi um dos primeiros resultados alcançados quando se utilizou o biocarvão como condicionador do solo (Van Zwieten *et al.* 2010; Obia *et al.* 2015) e neste experimento este efeito também foi observado, corroborando com a literatura especializada.

Na Tabela 9 pode-se observar que somente com a aplicação do calcário dolomítico, a acidez trocável apresentou valores muito baixos, diminuindo ainda mais com aplicação do biocarvão, independente das doses de N adicionadas. Isto permite inferir que, apesar do solo não apresentar níveis elevados desse atributo, o calcário dolomítico com alto PRNT, reagiu na solução do solo diminuindo substancialmente os teores do alumínio trocável. Adicionalmente, o efeito corretivo da acidez, causado pelas substâncias carbonatadas, presentes nas cinzas do biocarvão, também contribuíram para diminuir ainda mais os teores de alumínio na solução do solo.

O alumínio tóxico é provavelmente o fator mais limitante do crescimento das plantas em muitos solos ácidos, particularmente na faixa de pH < 5,0 a 5,5. O efeito tóxico do excesso de Al no crescimento das raízes pode influenciar severamente o crescimento e a produção das plantas (Havlin *et al.* 2005). 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 t, SB, V% e m%).

Os valores de acidez potencial diminuíram significativamente na presença do biocarvão, exceto na dose máxima aplicada. A ausência de biocarvão e a adubação nitrogenada não alterou de forma significativa a acidez potencial, o que não ocorreu na presença do biocarvão, onde na dose máxima de N a acidez potencial apresentou valor 3,0 vezes maior (Tabela 7). Uma análise complementar mostrou uma correlação negativa regular (-0,59) entre acidez potencial e pH (tabela 17).

**Tabela 7:** valores médio do atributo acidez potencial (H + Al) do solo após a coleta do experimento.

Atributo	Biocarvão	-----N (kg ha <sup>-1</sup> )-----				Unidades
	(t ha <sup>-1</sup> )	0	67,5	135	270	
H + Al	0	0,65aA	0,58aA	0,66aA	0,56bA	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup>
	40	0,26bB	0,43aB	0,38bB	0,80aA	

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

Adicionalmente, alto valor de acidez potencial (> 5,00 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) não é um valor desejável para a fertilidade do solo, uma vez que esse parâmetro expressa o teor de H<sup>+</sup> em ligação covalente mais o H + Al trocáveis na solução do solo. Notadamente na tabela 7 todos os valores são considerados baixos, uma vez que índices menores que < 2,00 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> classificam-se como baixos (Lopes e Guilherme 2004).

De acordo com Oliveira (2017), Damaceno (2017), Fidel *et al* (2017) e Moreira *et al.* (2009) os baixos valores da acidez potencial estão relacionadas negativamente com o pH do solo e alcalinidade do biocarvão, corroborando com as características químicas observadas no biocarvão utilizado neste estudo, que apresentou pH<sub>(CaCl)</sub> de 9,1.

**Tabela 8:** Equações de regressão ajustadas entre os componentes da acidez do solo em resposta à adição de doses crescentes de nitrogênio.

Tratamentos	Atributos	Equação	R <sup>2</sup>	Valor máximo da variável	Dose de N para o valor máximo da variável
Sem BC	pH	$\hat{y} = 0,0001268 * x + 5,712000$	0,97	5.71	0
Com BC	pH	$\hat{y} = -0,00353x + 6.682$	ns	-	-
Sem BC	H+al	$\hat{y} = -0.00025 x + 0,642$	ns	-	-

Com BC	H+al	$\hat{y}=0.001892x+2.44$	ns	-	-
--------	------	--------------------------	----	---	---

\*\*Significativo a 1 % ( $p < 0,01$ ), \*Significativo a 5% ( $0,01 \leq p < 0,05$ ). ns = não significativo.

**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 proporcionou um aumento de 67,27% na **SB**, independente das doses de N aplicada (Tabela 9). 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 K<sub>2</sub>O. Neste estudo o teor de cinza ficou em torno de 2,9%, assegurando um incremento de aproximadamente 357,00 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. 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.

A aplicação de biocarvão aumentou aproximadamente 27,28% o valor da CTC efetiva na comparação da ausência e presença de biocarvão (Tabela 9) corroborando seu efeito coloidal artificial (Lehmann, 2009; Petter, *et al.* 2012; Widowati *et al.* 2014; Damaceno, 2017; Oliveira, 2017).

**Tabela 9:** Valores médios dos atributos soma de bases (SB), CTC efetiva (t), acidez trocável (Al<sup>3</sup>) saturação por alumínio (m%) do solo após a coleta do experimento.

Fator BC	SB	t	Al <sup>3</sup>	m%
---t ha <sup>-1</sup> ---	-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup> -----	-----%-----		
0	0,37b	0,40b	0,03a	8,24a
40	0,55a	0,55a	0,001b	0,26b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1 % de probabilidade.

Observa-se que a combinação biocarvão e doses de N afetou os valores de T apenas na dose máxima no qual encontrou-se o maior teor (Tabela 10). Adicionalmente, percebe-se que a aplicação de biocarvão diminuiu a T em torno de 26%, enquanto que

na dose máxima de N e presença do biocarvão a T aumentou, concordando com os resultados encontrados por Liang *et al.* 2006.

De acordo com Lopes e Guilherme (2004), admite-se que índices  $\leq 1,60$   $\text{cmol}_c/\text{dm}^{-3}$  classificam-se como muito baixos. Por outro lado, valores entre 4,31-8,60  $\text{cmol}_c/\text{dm}^{-3}$  são classificados como bom e valores superiores ( $>8,60$   $\text{cmol}_c/\text{dm}^{-3}$ ) considerado muito bom.

**Tabela 10:** Valores médios da capacidade de troca de cátion potencial (T) do solo após a coleta do experimento.

Atributo	Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	-----N (kg ha <sup>-1</sup> )-----				Unidades
		0	67,5	135	270	
T	0	1,02aA	0,97aA	0,99aA	0,92bA	$\text{cmol}_c/\text{dm}^{-3}$
	40	0,75bB	0,94aB	0,99aB	1,38aA	

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

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

Na ausência de biocarvão a adubação nitrogenada não alterou a percentagem de saturação por bases (Tabela 11), entretanto, na presença de biocarvão houve aumento. Comparando os valores de V% na presença de biocarvão, nota-se que houve um aumento, independente das doses de N utilizadas, exceto na dose máxima 270 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 11:** Valores médios do atributo percentagem de saturação por bases (V%) do solo após a coleta do experimento.

Atributo	Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	-----N (kg ha <sup>-1</sup> )-----				Unidades
		0	67,5	135	270	
V	0	37,13bA	41,43bA	34,13bA	40,15aA	%
	40	65,80aA	54,48aA	61,45aA	41,69aB	

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

Visualiza-se que somente a presença do biocarvão proporcionou um aumento de aproximadamente 56,42% 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 as 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.

Observa-se que tabela 12 o desdobramento da regressão para vários atributos do solo, não houve resultados significativos.

**Tabela 12:** Equações de regressão ajustadas entre os atributos indicadores de fertilidade (t, T, V% e m%) do solo em resposta à adição de doses crescentes de nitrogênio.

Tratamentos	Atributos	Equação	R <sup>2</sup>	Valor máximo da variável	Dose de N para o valor máximo da variável
Sem BC	SB	$\hat{y} = -8.5E-05x + 0,37$	ns	-	-
Com BC	SB	$\hat{y} = 0.000368x + 0.504$	ns	-	-
Sem BC	t	$\hat{y} = -6.3E-05x + 0.4$	ns	-	-
Com BC	t	$\hat{y} = 0.000372x + 0.506$	ns	-	-
Sem BC	T	$\hat{y} = -0.0001x + 1.014$	ns	-	-
Com BC	T	$\hat{y} = 0.00226*x + 0,748$	0,97	1,35	270
Sem BC	m%	$\hat{y} = 0.005714x + 7.57$	ns	-	-
Com BC	m%	$\hat{y} = 0.00044x + 0.208$	ns	-	-
Sem BC	v%	$\hat{y} = 0.004775x + 37.646$	ns	-	-
Com BC	v%	$\hat{y} = -0.07919x + 65.184$	ns	-	-

\*\*Significativo a 1 % ( $p < 0,01$ ), \*Significativo a 5% ( $0,01 \leq p < 0,05$ ). ns = não significativo.

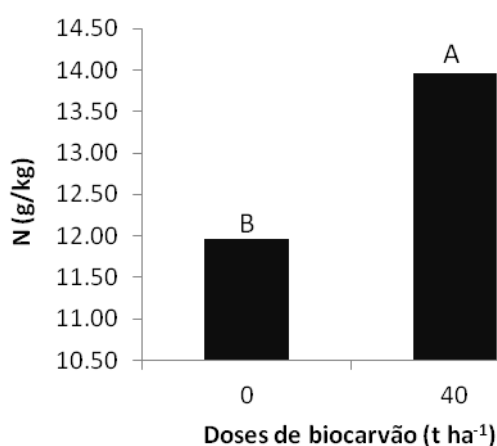
## Efeito dos tratamentos nos teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Fe, Zn e Mn) no solo.

A interação entre os fatores biocarvão (BC) e doses de N foi significativa para P, Ca, Mg e Fe ( $p < 0,05$ ) e Zn e Mn ( $p < 0,01$ ). Para o fator BC, todos os nutrientes foram significativos com exceção Fe e Zn ( $p < 0,01$ ). Com relação ao efeito isolado do fator N observou-se significância para K, Zn e Mn ( $p < 0,05$ ). Os demais nutrientes não apresentaram significância (**Anexo 2**).

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

### Nitrogênio total

A aplicação do biocarvão proporcionou um aumento de 14,51% de N total, independente das doses de N aplicada (Figura 5). Neste estudo não registrou-se interação de biocarvão com a adubação nitrogenada. De acordo com Tan *et al.*(2018) a distribuição do nitrogênio no sistema biomassa-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.



**Figura 5:** Teor de N total no solo na ausência (B) e presença de biocarvão (A), independente da dose de N aplicada, aos 210 dias após o transplantio.

Investigado o efeito do biocarvão na disponibilidade do N no solo e na planta usado nitrogênio enriquecido ( $^{15}N$ ) Taghizadeh-Toosi *et al* (2012a) concluiu que há de fato maior disponibilidade de N no solo e na planta na presença do biocarvão. Os dados deste autor e de Taghizadeh-Toosi, sugere que o biocarvão cria um ambiente no qual permite inferir que independentemente das diversas reações que ocorre no solo na presença de N, a presença do biocarvão inibe fatores e/ou processos que possam aumentar a perda N do sistema solo-planta.

De acordo com Nguyen *et al* (2017) a adsorção do nitrogênio inorgânico do solo pelo biocarvão é baseada em grupos funcionais como ácidos carboxílicos, hidroxilo, lactona e lactol são considerados grupos funcionais de superfície do biocarvão (**ver item 2.2**).

Alguns autores investigando o efeito do biocarvão na sorção de nitrato (Yang *et al.* 2017; Jassal *et al.* 2015; Gai *et al.* 2014; Steiner *et al.* 2008) 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 (Liu *et al.* 2017, Zheng *et al.* 2013). Ainda que isoladamente, este trabalho mostra que houve resultado significativo para biocarvão, indicando que o biocarvão aumenta a disponibilidade de N.

## **Fósforo no solo**

Na ausência de biocarvão e adubação nitrogenada não houve diferença significativa nos teores de P entre os tratamentos. Na presença de biocarvão houve diferença estatisticamente nos teores de P disponível. Adicionalmente, na comparação ausência e presença de biocarvão, observa-se que houve aumento nos teores de P nas



doses na ordem de 60,63%, e 51,19% respectivamente nas doses 67,5 e 270 N kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 13).

**Tabela 13:** Valores médios dos teores de fósforo, cálcio e magnésio do solo após a coleta do experimento.

Elementos	Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	-----N (kg ha <sup>-1</sup> )-----				Unidades
		0	67,5	135	270	
P	0	31,37aA	28,74bA	29,72bA	33,94aA	mg/dm <sup>-3</sup>
	40	35,73aB	47,40aAB	58,05aA	33,34aB	
Ca	0	0,20aA	0,22aA	0,17bA	0,18bA	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup>
	40	0,20aB	0,23aAB	0,34aA	0,31aAB	
Mg	0	0,14aAB	0,13aAB	0,12aB	0,15aA	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup>
	40	0,14aA	0,14aA	0,13aA	0,11bA	

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

A adição de N na ausência do biocarvão não aumentou os teores de Ca no solo. Por outro lado a combinação biocarvão e N aumentaram os teores de Ca. Adicionalmente na comparação ausência e presença de biocarvão, não houve diferenças significativa. 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.

Para o elemento Mg a adição de N e ausência de biocarvão, aumentou os teores de Mg no solo. Por outro lado a presença do biocarvão não aumentou os teores de Mg. 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. Apesar disso, Miranda relata que este efeito não afetou o desempenho na produção de biomassa e principalmente a produção de grão de arroz.

Observa-se que tabela 14 o desdobramento da regressão para os teores dos macronutrientes do solo, não houve resultados significativos.

**Tabela 14:** Equações de regressão ajustadas entre o nitrogênio total, fósforo disponível e os cátions (Ca, Mg e K) do solo em resposta à adição de doses crescentes de nitrogênio.

Tratamentos	Atributos	Equação	R <sup>2</sup>	Valor máximo da variável	Dose de N para o valor máximo da variável
Sem BC	N	$\hat{y} = -0.0048x + 14.352$	ns	-	-
Com BC	N	$\hat{y} = 0.000457x + 11.906$	ns	-	-
Sem BC	P	$\hat{y} = 0.012432x + 29.474$	ns	-	-
Com BC	P	$\hat{y} = -0.01448x + 45.34$	ns	-	-
Sem BC	K	$\hat{y} = -4.2E-06x + 0.028$	ns	-	-
Com BC	K	$\hat{y} = 8.47E-06x + 0.134$	ns	-	-
Sem BC	Ca	$\hat{y} = -0.00011x + 0.206$	ns	-	-
Com BC	Ca	$\hat{y} = 0.00044x + 0.218$	ns	-	-
Sem BC	Mg	$\hat{y} = 4.23E-05x + 0.13$	ns	-	-
Com BC	Mg	$\hat{y} = -0.00012 * x + 0.144$	93	0,14	0

\*\*Significativo a 1 % ( $p < 0,01$ ), \*Significativo a 5% ( $0,01 \leq p < 0,05$ ). ns = não significativo.

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

#### Ferro no solo

Na tabela 15 observa-se que N promoveu aumento na disponibilidade do Fe. Por outro lado o biocarvão não causou esse efeito. Adicionalmente, na comparação ausência e presença de biocarvão, houve diferença entre os tratamentos apenas na dose máxima de 270 kg ha<sup>-1</sup> de N. Notadamente sabe-se que os micronutrientes possuem maior disponibilidade nos intervalos de pH abaixo de 6. Isso pode ter acontecido porque na dose máxima o pH evoluiu de 5,41 para 4,94 unidades, seja isso explicado pelo poder tampão do solo e pela acidificação da N.

**Tabela 15:** Valores médios dos teores de Mn, Fe e Zn do solo após a coleta do experimento.

Elementos	Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	-----N (kg ha <sup>-1</sup> )-----				Unidades
		0	67,5	135	270	
Fe	0	195,0 aB	189,05 aB	183,8 aB	298,55 aA	mg/kg <sup>-1</sup>
	40	204,30 aA	194,80 aA	216,30 aA	187,67 bA	

Zn	0	0,82 aB	0,90 aB	0,72 bB	1,87 aA	mg/kg <sup>-1</sup>
	40	1,02 aA	1,05 aA	1,25 aA	0,97 bA	
Mn	0	0,60 bA	0,33aB	0,20bB	0,20aB	mg/kg <sup>-1</sup>
	40	0,80aA	0,46aB	0,77aA	0,15aC	

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

### Zinco no solo

Para o Zn o aumento das doses de N na gerou aumento da disponibilidade deste elemento. Por outro lado nos tratamentos que combinou biocarvão e N não houve aumento de disponibilidade. Adicionalmente, houve diferenças nas doses 135 e 270 kg ha<sup>-1</sup> de N, na ausência e presença, respectivamente. De acordo Qian *et al* (2016) biocarvão produzido em alta temperatura (>500°C) apresenta maiores teores de cinzas e maior capacidade de sorção de Zn<sup>2+</sup>. Esta adsorção está diretamente relacionada à formação de grupos OH-, Co<sub>3</sub><sup>2-</sup> e Si pelo biocarvão, sendo que a liberação dessas espécies no solo explica a imobilização de Zn observada na presença do biocarvão.

### Manganês no solo

Para o Mn houve aumento na disponibilidade deste elemento na com adição de N. Fato igualmente observado nos tratamentos com biocarvão. Adicionalmente na comparação ausência e presença do biocarvão, houve diferenças apenas na dose 0 e 135 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Observa-se que tabela 16 o desdobramento da regressão para os teores dos micronutrientes do solo, não houve resultados significativos.

**Tabela 16:** Equações de regressão ajustadas entre os teores dos micronutrientes (Fe, Zn e Mn) do solo em resposta à adição de doses crescentes de nitrogênio.

Tratamentos	Atributos	Equação	R <sup>2</sup>	Valor máximo da variável	Dose de N para o valor máximo da variável
Sem BC	Fe	$\hat{y} = 0,1777x + 170,15$	ns	-	-

Com BC	Fe	$\hat{y} = -2E-06x^2 + 0,0013x + 0,9875$	ns	-	-
Sem BC	Zn	$\hat{y} = 6E-06x^2 - 0,0019x + 0,8825$	ns	-	-
Com BC	Zn	$\hat{y} = -2E-06x^2 + 0,0013x + 0,9875$	ns	-	-
Sem BC	Mn	$\hat{y} = 2E-06x^2 - 0,002x + 0,5956$	ns	-	-
Com BC	Mn	$\hat{y} = -0,0009x + 0,788$	ns	-	-

\*\*Significativo a 1 % ( $p < 0,01$ ), \*Significativo a 5% ( $0,01 \leq p < 0,05$ ). ns = não significativo

**Tabela 17:** Correlação de Pearson entre os atributos químicos e nutrientes do solo após experimento.

	Atributos do solo									Nutrientes no solo						
	BC	pH	SB	Al+H	t	T	V%	m%	NT	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn
<b>BC</b>	-															
<b>pH</b>	0.71	-														
<b>SB</b>	0.77	0.57	-													
<b>Al+H</b>	-0.37	-0.59	-0.26	-												
<b>t</b>	0.70	0.52	0.99	-0.26	-											
<b>T</b>	0.09	-0.23	0.34	0.82	0.34	-										
<b>V%</b>	0.71	0.75	0.69	-0.86	0.67	-0.42	-									
<b>M%</b>	-0.80	-0.60	-0.64	0.17	-0.52	-0.22	-0.51	-								
<b>NT</b>	-0.58	-0.31	-0.38	0.36	-0.32	0.13	-0.47	0.56	-							
<b>P</b>	0.47	0.55	0.45	-0.25	0.41	0.02	0.39	-0.45	-0.40	-						
<b>K</b>	0.98	0.68	0.78	-0.40	0.71	0.08	0.74	-0.80	-0.60	0.41	-					
<b>Ca</b>	0.49	0.36	0.92	-0.07	0.95	0.48	0.47	-0.38	-0.13	0.33	0.50	-				
<b>Mg</b>	-0.06	0.13	0.19	-0.23	0.19	-0.11	0.24	-0.16	-0.14	0.25	-0.07	0.11	-			
<b>Fe</b>	-0.14	-0.08	-0.07	-0.17	-0.03	-0.21	0.06	0.23	-0.06	0.12	-0.15	-0.07	0.27	-		
<b>Zn</b>	-0.00	-0.16	0.08	-0.16	0.07	-0.11	0.12	-0.10	-0.40	0.37	0.01	0.02	0.42	0.55	-	
<b>Mn</b>	0.41	0.71	0.32	-0.60	0.28	-0.39	0.64	-0.41	-0.29	0.43	0.40	0.13	0.32	0.03	-0.08	-

## 5.2 Parâmetros alométricos e produção de biomassa seca

A interação entre os fatores biocarvão (BC) e doses de N foi significativa ( $p < 0,01$ ) para Taxa de crescimento relativo em altura (TCR-a), Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA-a), Crescimento absoluto em altura (CA-a), crescimento absoluto em diâmetro (CA-d); Peso da matéria seca da parte superior (PMSPA), Peso da matéria seca das raízes (PMSR), relação parte área e raiz (PMSPA/PMSR) ( $p < 0,05$ ). Para as variáveis onde não foi observada interação foram avaliadas isoladamente. (Anexo 3).

### Efeitos dos tratamentos sobre as variáveis alométricas

Os resultados deste estudo mostraram respostas variáveis ao biocarvão e às doses de N para a taxa de crescimento relativo em altura (**TCR-a**), taxa de crescimento absoluto em altura (**TCA-a**), crescimento absoluto em altura (**CA-a**) e em diâmetro (**CA-d**) (Tabela 18).

**Tabela 18:** Valores médios dos parâmetros biométricos da taxa de crescimento relativo em altura (TCR-a), taxa de crescimento absoluto em altura (TCA-a) crescimento absoluto em altura (CA-a) e diâmetro (CA-d) após a coleta do experimento.

Variáveis	Biocarvão	-----N (kg ha <sup>-1</sup> )-----				Unidades
	(t ha <sup>-1</sup> )	0	67,5	135	270	
TCR-a	0	0,09aA	0,10aA	0,11aA	0,06bA	cm cm <sup>-1</sup> mês <sup>-1</sup>
	40	0,08aAB	0,05aB	0,07aAB	0,18aA	
TCA-a	0	2,66aA	4,18aA	5,0aA	2,77bA	cm mês <sup>-1</sup>
	40	2,98aA	2,12aA	2,14bA	5,11aA	
CA-a	0	16,87aA	23,53aA	30,23aA	19,93aA	cm
	40	23,03aAB	16,86aAB	14,96bB	30,70aA	
CA-d	0	3,91bB	4,12aAB	5,71aA	3,19aB	mm
	40	5,46aA	4,70aA	2,69bA	4,86aA	

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

O aumento das doses de N não influenciaram significativamente os índices TCR-a, TCA-a e CA-a na ausência de biocarvão. Por outro lado com a presença do biocarvão visualiza-se diferenças significativas, exceto nos índices TCA-a e CA-d. Para **TCR-a** observou-se ganho significativo de 300% em substrato com biocarvão, comparado-se com a ausência de sua aplicação (dose máxima). A variação de **TCR-a** de 0,05 a 0,18 cm cm<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup> é semelhante a encontrada por Correa, (2013) (0,05-0,13 cm cm<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>) em mudas de castanheira-do-brasil, no entanto, neste estudo alcançou-se acréscimo de 0,05 cm cm<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup> com o uso de biocarvão +270 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Para **TCA-a**, detectou-se diferenças significativas apenas em 135 e 270 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente na ausência e presença de biocarvão, sendo que essas diferenças podem ter sido influenciadas diretamente pelos valores de **TCR-a** nesses tratamentos. Os valores de **TCA-a** obtidos neste trabalho (2,12 a 5,11 cm mês<sup>-1</sup>) estão abaixo dos encontrados por Correa (2013) (3,1 a 7,9 cm mês<sup>-1</sup>) trabalhando com fertilização em mudas de castanheira-do-brasil em tempo semelhante. Ao associar 40t ha<sup>-1</sup> de biocarvão com adubação fosfatada, Damaceno (2017) registrou TCA-a entre 1,5 a 1,7 cm mês<sup>-1</sup> em mudas de castanheira-do-brasil, abaixo dos alcançados neste estudo, podendo-se inferir o potencial do nitrogênio+biocarvão na promoção do crescimento.

Para **CA-a**, a associação do biocarvão com 270 kg ha<sup>-1</sup> de N promoveu maiores ganhos. Todavia, a diferença registrada para 135 kg ha<sup>-1</sup> de N pode ter sido resultado do padrão da **TCA-a** sem e com biocarvão. Damaceno (2017) mostrou variação de 2 a 12 cm, enquanto neste trabalho observou-se variação de 14,96 a 30,70cm no mesmo tempo experimentação. Lima *et al.* (2016) estudando a combinação de quatro doses de ureia (0,100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup>) e quatro concentrações de biocarvão no substrato (0, 5, 10, 20 e 35% v/v) não alcançaram crescimento significativo para mudas de Angico (*Anadenanthera colubrina*).

O índice CA-d foi positivamente influenciado até dose de 135 kg ha<sup>-1</sup> de N sem biocarvão. Os melhores diâmetros finais das mudas de castanheiras foram obtidos para 0 e 135 kg ha<sup>-1</sup> de N, na presença e ausência de biocarvão, possivelmente acrescidos pelo maior investimento em altura. Para este índice Damaceno (2017) encontrou valores entre 0,03 a 3,5 mm, inferiores em comparação aos valores deste trabalho (2,69 a 5,71mm).



**Tabela 19:** Correlação de pearson das atributos do solo os parâmetros biométricos das mudas de castanheira-do-brasil após o experimento.

	<b>BC</b>	<b>pH</b>	<b>SB</b>	<b>Al+H+</b>	<b>t</b>	<b>T</b>	<b>V%</b>	<b>m%</b>	<b>TCR-a</b>	<b>TCR-d</b>	<b>TCA-a</b>	<b>TCA-d</b>	<b>MSPA</b>	<b>MSR</b>	<b>PMST</b>	<b>MSR/MSPA</b>	<b>IQD</b>
<b>BC</b>	-																
<b>pH</b>	0.71	-															
<b>SB</b>	0.78	0.57	-														
<b>Al+H+</b>	-0.37	-0.59	-0.26	-													
<b>t</b>	0.71	0.52	0.99	-0.26	-												
<b>T</b>	0.10	-0.23	0.34	0.82	0.34	-											
<b>V%</b>	0.71	0.75	0.69	-0.86	0.67	-0.42	-										
<b>M%</b>	-0.80	-0.60	-0.64	0.17	-0.52	-0.22	-0.51	-									
<b>TCR-a</b>	-0.06	-0.25	-0.05	0.45	-0.04	0.41	-0.33	0.06	-								
<b>TCR-d</b>	-0.14	-0.10	-0.23	0.08	-0.22	-0.06	-0.12	0.28	0.37	-							
<b>TCA-a</b>	-0.17	-0.28	-0.28	0.39	-0.26	0.22	-0.42	0.28	0.85	0.57	-						
<b>TCA-d</b>	0.02	-0.15	-0.05	0.22	-0.04	0.19	-0.12	0.06	0.42	0.43	0.35	-					
<b>MSPA</b>	-0.28	-0.14	-0.42	0.17	-0.40	-0.09	-0.26	0.35	0.28	0.53	0.48	0.25	-				
<b>MSR</b>	0.44	0.18	0.45	0.03	0.42	0.30	0.26	-0.47	0.25	0.10	0.13	0.03	0.03	-			
<b>PMST</b>	0.19	0.05	0.07	0.24	0.02	0.28	-0.04	-0.23	0.34	0.48	0.35	0.29	0.71	0.56	-		
<b>MSR/MSPA</b>	0.17	-0.07	0.10	0.15	0.07	0.21	0.01	-0.15	0.35	0.30	0.28	0.86	0.15	0.25	0.35	-	
<b>IQD</b>	-0.14	-0.20	-0.16	0.12	-0.13	0.02	-0.17	0.27	0.31	0.33	0.26	0.68	0.20	-0.26	0.01	0.23	-

## Efeitos dos tratamentos sobre produção de biomassa seca

Para a variável PMSPA, A adição de N na ausência de biocarvão aumentou a biomassa até a dose 135 kg ha<sup>-1</sup> de N (15,61g), com decréscimo na dose máxima (7,26g). Na combinação biocarvão e N houve decréscimo nas doses intermediárias (67,5 e 135), sendo obtida a maior media na dose máxima. Em adição, na comparação, ausência e presença de biocarvão, mostrou-se diferenças significativas em todas as doses, exceto na dose 0 (Tabela 20).

**Tabela 20:** Valores médios do Peso da matéria seca da parte aérea (PMSPA), Peso da matéria seca das raízes (PMSR) e relação da parte aérea e raiz após a coleta do experimento.

Variáveis	Biocarvão	-----N (kg ha <sup>-1</sup> )-----				Unidades
	(t ha-1)	0	67,5	135	270	
PMSPA	0	12,13aB	11,13aB	15,61aA	7,26bC	g
	40	13,90aA	6,25bC	7,88bBC	10,64aB	
PMSR	0	6,42aAB	7,32aA	2,93bB	4,48bAB	g
	40	8,59aA	4,51aB	7,85aAB	10,21aA	
Relação PMSPA/PMSR	0	1,92aB	1,69aB	4,80aA	1,72aB	
	40	1,88aA	1,38aA	1,02bA	1,05aA	

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

As raízes em crescimento são extremamente sensíveis a uma ampla gama de fatores. Salienta-se os fatores de natureza química (pH, concentração de elemento tóxicos e os nutrientes) e os fatores de natureza físico e físico-hídrico (oxigenação, temperatura, umidade, textura, densidade/porosidade). Estes fatores afetam sobremaneira a extensão de um sistema radicular – isto é, a profundidade com que ele penetra no solo e a distância com que ele se alastra lateralmente (Meurer.2007).

Para a variável PMSR a adição de N na ausência de biocarvão aumentou a biomassa até a dose 67,5 kg ha<sup>-1</sup> de N (7,32g). Na combinação biocarvão e N houve

decréscimo nas doses intermediárias (67,5 e 135), sendo obtida a maior média na dose máxima. Adicionalmente, na comparação, ausência e presença e biocarvão, observou diferenças significativas apenas doses 135 e 270 kg ha<sup>-1</sup> de N (Tabela 20).

O maior incremento da biomassa da raiz no tratamento com biocarvão sugere que o houve melhor condição na exploração do maior volume de solo. Este fato indica que as funções das raízes como sustentação, absorção de água e nutrientes foram melhores estabelecidas sob o tratamento com biocarvão. Boa parte desse desenvolvimento da raiz está diretamente ao efeito do pH no qual notou-se uma correlação positiva do pH com a biomassa da raiz (Tabela 19).

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. Xiang, *et al* (2017) em uma meta análise com 136 artigos mostrou que no geral o biocarvão aumentou a biomassa da raiz em 32%, o volume radicular em 29% e a área superficial em 39%.

Nos vegetais existe um balanço entre o sistema radicular e a parte área. 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. Essas substâncias podem ser usadas pela própria raiz, mas, muito frequentemente, as substâncias armazenadas são digeridas e os produtos são transportados pelo xilema de volta às partes aéreas. Esse equilíbrio pode ser prejudicado através de danos nas raízes reduzido à região de absorção e diminuído a oferta de água e nutrientes para a parte área, por outro lado dano na parte área reduz a oferta de fotoassimilados e hormônios para as raízes (White, 2012).

Para a relação PMSPA/PMSR a adição de N na ausência de biocarvão aumentou a relação até a dose 135 kg ha<sup>-1</sup> de N. Na combinação biocarvão e N houve diferença significativa. Adicionalmente, na comparação, ausência e presença e biocarvão, observou diferenças significativas apenas doses 135 kg ha<sup>-1</sup> de N. Crutchfield (2016) observou maior volume e crescimento das raízes de trigo sob tratamento com biocarvão. Ele atribuiu esse resultado a mudança da textura do solo.

Observa-se que tabela 21 o desdobramento da regressão para vários os parâmetros biométricos da planta, não houve resultados significativos.

**Tabela 21:** Equações de regressão ajustadas entre os parâmetros biométricos da planta em resposta à adição de doses crescentes de nitrogênio.

Tratamentos	Atributos	Equação	R <sup>2</sup>	Valor máximo da variável	Dose de N para o valor máximo da variável
Sem BC	TCR-a	$\hat{y} = -8.042e-05x+1.12$	ns	-	-
Com BC	TCR-a	$\hat{y} = 0.002701x-0.074$	ns	-	-
Sem BC	TCR-d	$\hat{y} = -8.042e-05 x + 1.12$	ns	-	-
Com BC	TCR-d	$\hat{y} = 0.0004148x+0.046$	ns	-	-
Sem BC	TCA-a	$\hat{y} = -0.0009524 x + 3.81$	ns	-	-
Com BC	TCA-a	$\hat{y} = 0.008851x+2.042$	ns	-	-
Sem BC	TCA-d	$\hat{y} = -2.963e-05x + 6.260$	ns	-	-
Com BC	TCA-d	$\hat{y} = -0.0001989x+0.716$	ns	-	-
Sem BC	pmspa	$\hat{y} = -5E-05x^2 + 0,0231x + 11,21$	ns	-	-
Com BC	pmspa	$\hat{y} = 6E-05x^2 - 0,0416x + 13,127$	ns	-	-
Sem BC	pmsr	$\hat{y} = -0,0045x + 6,474$	ns	-	-
Com BC	pmsr	$\hat{y} = 0,005x + 6,486$	ns	-	-
Sem BC	PMST	$\hat{y} = -0,0098x + 18,578$	ns	-	-
Com BC	PMST	$\hat{y} = 0.0028x + 16.692$	ns	-	-
Sem BC	IQD	$\hat{y} = -0.001917x+1.414$	ns	-	-
Com BC	IQD	$\hat{y} = -0.0002455x+1.354$	ns	-	-

Notas: TCR-a - Taxa de crescimento relativo em altura; TCR-d - Taxa de crescimento relativo em diâmetro; TCA-a- Taxa de crescimento absoluto em altura; TCA-d -Taxa de crescimento absoluto em diâmetro; CA-a Crescimento absoluto em altura; Crescimento absoluto em diâmetro CA-d; pmspa - peso seco da matéria seca da parte aérea; pmsr - peso da materia seca das raízes; PMST - Peso da matéria seca total; Relação pmspa/ pmsr e IDQ- Índice de qualidade de Dickson. \*\* Significativo a 1%; \* Significativo a 5%. ns = não significativo.

**Tabela 22:** Correlação de pearson entre nutrientes do solo e os parametros biométricos das mudas de castanheira-do-brasil após o experimento.

	BC	NT	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	TCR-a	TCR-d	TCA-a	TCA-d	MSPA	MSR	PMST	MSR/MSPA	IQD	
<b>BC</b>	-																		
<b>NT</b>	-0.59	-																	
<b>P</b>	0.48	-0.40	-																
<b>K</b>	0.99	-0.60	0.41	-															
<b>Ca</b>	0.49	-0.13	0.33	0.50	-														
<b>Mg</b>	-0.06	-0.14	0.25	-0.07	0.11	-													
<b>Fe</b>	-0.15	-0.06	0.12	-0.15	-0.07	0.27	-												
<b>Zn</b>	-0.01	-0.40	0.37	0.01	0.02	0.42	0.55	-											
<b>Mn</b>	0.41	-0.29	0.43	0.40	0.13	0.32	0.03	-0.08	-										
<b>TCR-a</b>	-0.06	0.28	-0.26	-0.08	0.06	-0.33	0.05	-0.18	-0.28	-									
<b>TCR-d</b>	-0.14	0.29	-0.25	-0.18	-0.20	-0.09	-0.03	-0.36	-0.05	0.37	-								
<b>TCA-a</b>	-0.17	0.38	-0.27	-0.22	-0.17	-0.48	0.12	-0.30	-0.34	0.85	0.57	-							
<b>TCA-d</b>	0.02	0.32	-0.19	0.00	-0.04	-0.14	-0.20	-0.24	-0.11	0.42	0.43	0.35	-						
<b>MSPA</b>	-0.28	0.30	-0.44	-0.26	-0.36	-0.36	-0.20	-0.56	-0.02	0.28	0.53	0.48	0.25	-					
<b>MSR</b>	0.44	-0.31	0.00	0.45	0.38	-0.05	-0.15	-0.18	0.20	0.25	0.10	0.13	0.03	0.03	-				
<b>PMST</b>	0.19	-0.04	-0.27	0.20	0.01	-0.24	-0.34	-0.50	0.16	0.34	0.48	0.35	0.29	0.71	0.56	-			
<b>MSR/MSPA</b>	0.17	0.24	-0.15	0.17	0.05	-0.08	-0.17	-0.18	-0.04	0.35	0.30	0.28	0.86	0.15	0.25	0.35	-		
<b>IQD</b>	-0.14	0.17	-0.15	-0.16	-0.09	-0.18	-0.15	-0.19	-0.12	0.31	0.33	0.26	0.68	0.20	-0.26	0.01	0.23	-	

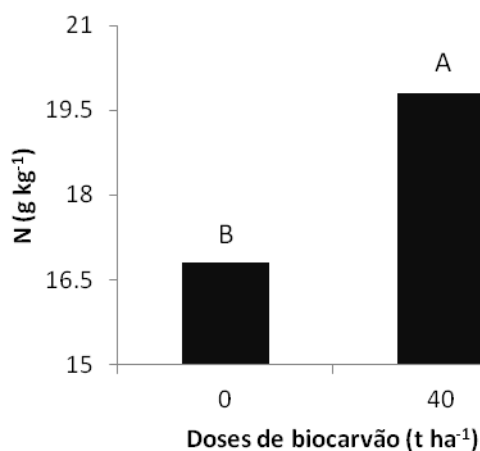
### 5.3 Estado nutricional

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

#### Efeito dos tratamentos na concentração de macronutrientes na planta (N,P,K,Ca)

##### Nitrogênio

Para o fator biocarvão observa-se maior concentração foliar de N para o tratamento com biocarvão (Figura 6). A concentração de N na planta foi 19,96% superior em comparação com tratamento sem biocarvão.



**Figura 6:** Concentração de N em função da ausência (A) e presença de biocarvão (B), independente da dose de N aplicada, aos 210 dias após o transplante.

O N é um fator fundamental na produção vegetal. As concentrações de nitrogênio em espécies florestais podem ser muito variáveis, e segundo estudos de Ferreira *et al.* (2015) e Gomes (2012), para plantas jovens de castanheira-do-brasil, a faixa de concentração foliares de N variaram de 10,7 e 15,1 g kg<sup>-1</sup> e 9,53 e 17,05 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Investigando o efeito do biocarvão na biodisponibilidade do N no solo e na planta usado nitrogênio enriquecido <sup>15</sup>N Taghizadeh-Toosi *et al* (2012b), demonstraram que há uma maior disponibilidade de N no solo na presença do biocarvão. Os dados deste trabalho, sugere que podem ter ocorrido adsorção por atração eletrostática do N (Montes-Morán *et al.* 2004 e Zheng *et al.* 2010; ), pelo biocarvão, todavia como essa atração é considerada fraca, pode ter facilitado notadamente a absorção no N pelas mudas de castanheiras. Dada a complexidade da reação no N no solo e na planta, o biocarvão atua como um adsorvente de N, tendo atuado na dinâmica da absorção de N. Neste sentido, neste trabalho ficou demonstrado dois efeitos sinérgicos, uma maior disponibilidade de nitrogênio no solo e uma maior concentração de N nas folhas (Correlação positiva do N solo e N foliar, tabela 23) fato este também encontrado por Zhang *et al.* (2017), no cultivo de *Torreya grandis*.

Dharmakeerthi *et al* (2012) estudando mudas de seringueiras sob tratamento de biocarvão em um Argissolo, constatou elevação da concentração foliar na comparação do tratamento testemunha (0% biocarvão) e o tratamento com dosagem completa (2% de biocarvão + nutrientes) de biocarvão com concentração foliares de 1.7% e 2.53% respectivamente. Esse autor enfatiza que essa maior concentração foliar de N deve-se, em grande parte, ser resultando da menor lixiviação do N e do alto requerimento do N pela planta refletindo em maior crescimento e conseqüentemente maior biomassa.

**Tabela 23:** Correlação de pearson dos nutrientes no solo e na planta das mudas de castanheira-do-brasil após o experimento.

	Nutrientes no solo										Nutrientes na planta						
	BC	NT	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	NF	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn
BC	-																
NT	-0.59	-															
P	0.48	-0.40	-														
K	0.99	-0.60	0.41	-													
Ca	0.50	-0.13	0.33	0.50	-												
Mg	-0.06	-0.14	0.25	-0.07	0.11	-											
Fe	-0.15	-0.06	0.12	-0.15	-0.07	0.27	-										
Zn	-0.01	-0.40	0.37	0.01	0.02	0.42	0.55	-									
Mn	0.41	-0.29	0.43	0.40	0.13	0.32	0.03	-0.08	-								
NF	-0.66	0.92	-0.42	-0.65	-0.24	-0.19	-0.09	-0.24	-0.46	-							
P	-0.08	0.25	0.05	-0.05	0.10	-0.18	-0.22	0.11	-0.11	0.28	-						
K	0.53	-0.21	0.25	0.49	0.26	-0.20	-0.06	0.01	-0.02	-0.24	-0.11	-					
Ca	-0.39	0.45	-0.35	-0.37	-0.17	0.06	0.16	-0.20	-0.16	0.42	-0.11	-0.23	-				
Mg	-0.17	0.34	0.02	-0.20	-0.19	0.10	0.13	-0.17	0.10	0.24	-0.14	-0.05	0.40	-			
Fe	-0.76	0.42	-0.31	-0.75	-0.36	0.02	-0.11	-0.20	-0.08	0.46	0.05	-0.55	0.51	0.21	-		
Zn	-0.07	0.01	0.01	-0.05	-0.01	-0.06	-0.09	-0.06	0.19	-0.02	0.31	-0.21	0.16	0.01	0.33	-	
Mn	-0.65	0.31	-0.35	-0.63	-0.56	0.03	0.18	0.22	-0.32	0.43	0.06	-0.28	0.34	0.03	0.43	0.14	-



## FÓSFORO

A adubação nitrogenada, na ausência de biocarvão, não promoveu aumento na concentração foliar de fósforo, semelhantemente aconteceu para o tratamento que recebeu biocarvão (Tabela 24).

A fertilização nitrogenada não aumentou a concentração foliar de Ca na ausência de biocarvão. Por outro lado observou-se diferenças significativas na combinação biocarvão e N. Adicionalmente há maior disponibilidade de Ca quando se comparou a disponibilidade na ausência e presença de biocarvão. Nota-se claramente que o padrão observado em **TCA-a**, **CA-a** e **CA-d** é explicado pelo menor concentração de cálcio (Tabela 18).

**Tabela 24:** valores médios da concentração de potássio e cálcio na planta após a coleta do experimento.

Elementos	Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	-----N (kg ha <sup>-1</sup> )-----				Unidades
		0	67,5	135	270	
P	0	0,65aA	0,70aA	0,70aA	0,67aA	g kg <sup>-1</sup>
	40	0,62aA	0,71aA	0,68aA	0,63aA	
Ca	0	3,75aA	2,58aA	3,10aA	2,93aA	g kg <sup>-1</sup>
	40	2,80aAB	2,33aAB	1,57bB	3,16aA	

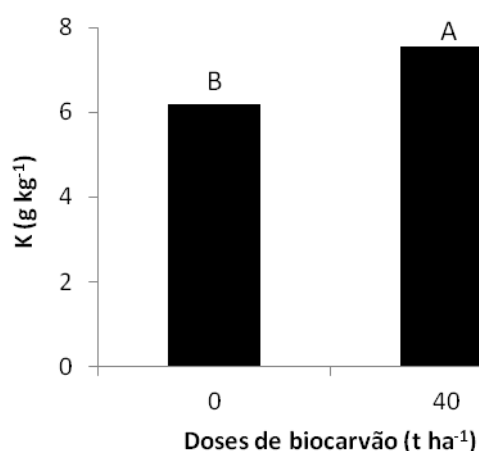
As médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Essas concentrações de Ca foram semelhantes aos encontrados por Damaceno (2017) no qual estudou o efeito residual de P com doses crescentes de biocarvão. A variação de Ca foi 3,46 a 5,10 g kg<sup>-1</sup>. Esses valores parecem ser recorrentes para mudas de castanheira-do-brasil como mostraram outros trabalhos (Correa 2013) com concentrações de 3,9 a 5 g kg<sup>-1</sup> e Gomes (2012) com 3,18 a 8,38 g kg<sup>-1</sup>. Neste trabalho as baixas concentrações foliares de Ca apresentaram correlação negativamente com 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).

## POTÁSSIO

Para a concentração foliares de K, foi observada que a presença de biocarvão aumentou concentração deste elemento na folha. De acordo com Camargos (1999) o K é um dos elementos mais limitantes ao crescimento da castanheira. Na figura 7 mostra que a associação de biocarvão aumentou a concentração foliar de K.



**Figura 7:** Concentração de K em função da ausência (B) e presença de biocarvão (A) independente da dose de N aplicada, aos 210 dias após o transplântio.

A concentração foliar de K para a cultura da castanheira-do-brasil varia substancialmente, sendo encontrados valores médios de 3,0 g kg<sup>-1</sup> (Ferreira *et al.* 2015) a 15,4 g kg<sup>-1</sup> (Corrêa 2013). Kerbauy (2004) afirma que as concentrações foliares consideradas adequadas ao crescimento de espécies florestais gira em torno de 10 g kg<sup>-1</sup>. Considerando esses valores, as concentrações de K foliar encontradas neste trabalho estão menores que o recomendado.

São escassos trabalhos com espécies clímax com o uso do biocarvão, entanto, 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.

Observa-se que tabela 25 o desdobramento da regressão para as concentrações foliares dos macronutrientes da planta, não houve resultados significativos.

**Tabela 25:** Equações de regressão ajustadas entre as concentrações dos macronutrientes da planta em resposta à adição de doses crescentes de nitrogênio.

Tratamentos	Atributos	Equação	R <sup>2</sup>	Valor máximo da variável	Dose de N para o valor máximo da variável
Sem BC	N	$\hat{y} = -0.003035x + 19.766$	ns	-	-
Com BC	N	$\hat{y} = 0.003598x + 16.38$	ns	-	-
Sem BC	P	$\hat{y} = 0.0001524x + 0.652$	ns	-	-
Com BC	P	$\hat{y} = -5.079e-05x + 0.660$	ns	-	-
Sem BC	K	$\hat{y} = 0.004855x + 5.634$	ns	-	-
Com BC	K	$\hat{y} = 0.004178x + 7.054$	ns	-	-
Sem BC	Ca	$\hat{y} = -0.001913x + 3.316$	ns	-	-
Com BC	Ca	$\hat{y} = 0.001448x + 2.294$	ns	-	-
Sem BC	Mg	$\hat{y} = -0.0006138x + 1.48$	ns	-	-
Com BC	Mg	$\hat{y} = -0.0006053x + 1.414$	ns	-	-

\*\*Significativo a 1 % ( $p < 0,01$ ), \*Significativo a 5% ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

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

#### Ferro

Na ausência de biocarvão a adubação nitrogenada limitou de forma significativa a concentração foliar de Fe. Na presença de biocarvão não deferiu estatisticamente a concentração foliar de Fe. Adicionalmente, na comparação ausência e presença de biocarvão, observa-se que houve decréscimo na concentração de Fe nas diferentes doses na ordem de 211,32%, 122,53%, 82,20% e 86,12% respectivamente para as doses 0, 67,5, 135 e 270 N kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 26).

**Tabela 26:** Valores médios da concentração de ferro e manganês na planta após a coleta do experimento.

Elementos	Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	-----N (kg ha <sup>-1</sup> )-----				Unidades
		0	67,5	135	270	
Fe	0	248,00aA	158,00aB	148,50aB	129,50aB	mg kg <sup>-1</sup>
	40	79,66bA	71,00bA	81,50bA	86,12bA	
Mn	0	18,33aB	16,66aB	21,50aAB	25,00aA	mg kg <sup>-1</sup>
	40	16,66aA	13,08aA	12,00bA	12,66bbA	

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

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 como pH e principalmente pelo equilíbrio entre as concentrações de Ca e P. De acordo com Dechen *et al.*, (2006) o ferro é preferencialmente absorvido na forma Fe-quelato e nas formas iônicas  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$ , sendo que a redutase do Fe (Transformação de  $Fe^{3+}$  para  $Fe^{2+}$ ) é facilitada num ambiente rizosférico mais ácido.

Admite-se que o Fe é um cátion de baixa mobilidade. Sendo que essa mobilidade é afetada negativamente por vários fatores, 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.

## Manganês

Na ausência de biocarvão a adubação nitrogenada alterou de forma significativa a concentração foliar de Mn. Por outro lado na presença de biocarvão não deferiu estatisticamente a concentração foliar de Mn. As concentrações foliares de Mn estão dentro da faixa encontrados pelos autores Ferreira (2015) e Correa (2013) em mudas de castanheira-do-brasil.

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.

Observa-se que tabela 27 o desdobramento da regressão para as concentrações foliares dos micronutrientes da planta, não houve resultados significativos.

**Tabela 27:** Equações de regressão ajustadas entre as concentrações dos micronutrientes da planta em resposta à adição de doses crescentes de nitrogênio.

Tratamentos	Atributos	Equação	R <sup>2</sup>	Valor máximo da variável	Dose de N para o valor máximo da variável
Sem BC	Fe	$\hat{y} = -0.3814x + 215.8000$	ns	-	-
Com BC	Fe	$\hat{y} = 0.03639x + 75.27200$	ns	-	-
Sem BC	Zn	$\hat{y} = -0.003403x + 9.232000$	ns	-	-
Com BC	Zn	$\hat{y} = 5.503e-05x + 8.596$	ns	-	-
Sem BC	Mn	$\hat{y} = 0.02877x + 16.91200$	ns	-	-
Com BC	Mn	$\hat{y} = -0.01266x + 15.09600$	ns	-	-

\*\*Significativo a 1 % ( $p < 0,01$ ), \*Significativo a 5% ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

**Tabela 28:** Correlação de pearson entre nutrientes da planta e os parametros biométricos das mudas de castanheira-do-brasil após o experimento.

	BC	NF	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	TCR-a	TCR-d	TCA-a	TCA-d	MSPA	MSR	PMST	MSR/MSPA	IQD
<b>BC</b>	-																	
<b>NF</b>	-0.66	-																
<b>P</b>	-0.08	0.28	-															
<b>K</b>	0.53	-0.24	-0.11	-														
<b>Ca</b>	-0.39	0.42	-0.11	-0.23	-													
<b>Mg</b>	-0.17	0.24	-0.14	-0.05	0.40	-												
<b>Fe</b>	-0.76	0.46	0.05	-0.55	0.51	0.21	-											
<b>Zn</b>	-0.07	-0.02	0.31	-0.21	0.16	0.01	0.33	-										
<b>Mn</b>	-0.65	0.43	0.06	-0.28	0.34	0.03	0.43	0.14	-									
<b>TCR-a</b>	-0.06	0.28	-0.39	0.24	0.39	0.14	0.02	-0.36	-0.05	-								
<b>TCR-d</b>	-0.14	0.24	-0.30	0.13	0.42	0.13	0.06	-0.27	0.16	0.37	-							
<b>TCA-a</b>	-0.17	0.35	-0.35	0.28	0.43	0.29	0.06	-0.34	0.06	0.85	0.57	-						
<b>TCA-d</b>	0.02	0.31	-0.15	0.45	0.14	0.08	-0.08	-0.10	0.09	0.42	0.43	0.35	-					
<b>MSPA</b>	-0.28	0.23	-0.18	0.02	0.37	0.21	0.30	0.10	0.15	0.28	0.53	0.48	0.25	-				
<b>MSR</b>	0.44	-0.36	-0.26	0.23	0.01	-0.26	-0.18	-0.33	-0.42	0.25	0.10	0.13	0.03	0.03	-			
<b>PMST</b>	0.19	-0.08	-0.29	0.17	0.35	-0.07	0.10	0.11	-0.14	0.34	0.48	0.35	0.29	0.71	0.56	-		
<b>MSR/MSPA</b>	0.17	0.22	-0.10	0.45	0.12	0.01	-0.12	-0.06	-0.03	0.35	0.30	0.28	0.86	0.15	0.25	0.35	-	
<b>IQD</b>	-0.14	0.15	-0.12	0.27	0.05	0.11	0.01	-0.09	0.16	0.31	0.33	0.26	0.68	0.20	-0.26	0.01	0.23	

## 6. CONCLUSÕES

A) Os valores de pH e os teores de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio aumentaram com a aplicação do biocarvão. Os teores dos micronutrientes aumentaram com as doses crescentes de N, com exceção do magnésio.

B) As doses crescentes de N promoveram maior desenvolvimento da planta da parte superior. O biocarvão aumentou os valores do peso da matéria seca das raízes.

C) O índice de qualidade de Dickson mesmo não mostrou significância entre os tratamentos, por outro lado os valores ficaram acima de 1, enfatizado os benefícios da fertilização nitrogenada. Para a produção de mudas de castanheiras-do-brasil, nenhuma dose de N foi apontada como ideal.

D) As concentrações foliares de fósforo não tiveram aumentos seja por efeito das doses crescente de N ou do BC. As concentrações foliares de Ca e dos micronutrientes ferro e manganês tiveram seus valores afetados negativamente pelo BC.

## 7. REFERÊNCIAS BIOGRÁFICAS

- Adams, M. M.; Benjamin, T. J.; Emery, N. C.; Brouder, S. J.; Gibson, K. D. 2013. The effect of biochar on native and invasive prairie plant species. *Invasive Plant Science and Management*, 6(2), 197-207.
- Albuquerque, J.A.; Salazar. P.; Barrón. V.; Torrent. J.; Del Campillo, M.D.C.; Gallardo, A.; Villar,R. 2013. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development*.33:475–484.
- Alfaia, S. S.; Guiraud, G.; Jacquin, F.; Muraoka, T.; Ribeiro, G. 2000. Efficiency of <sup>15</sup>N-labelled fertilizers for rice and rye-grass cultivated in an Ultisol of Brazilian Amazonia. *Biology and Fertility of Soils*, Alemanha, 31: 329-333.
- Alfaia, S. S. Destino de adubos nitrogenados marcados com <sup>15</sup>N em amostras de dois solos da Amazônia Central. 1997. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21: 379-385.
- Alfaia, S. S. Mineralização do nitrogênio incorporado como material vegetal em três solos da Amazônia Central. 1997a. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21: 387-392.
- Alfaia, S. S.; Muraoka, T. 1997b. Efeito de calagem e micronutrientes em Latossolo Amarelo sob rotação de culturas. *Acta Amazonica*, Brasil, 27: 153-162.
- Agegnehu, G.; Srivastava, A. K.; Bird, M. I. 2017. The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: a review. *Applied soil ecology*, 119, 156-170.
- Agegnehu, G.; Bass, A. M.; Nelson, P. N.; Bird, M. I. 2016. Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*, 543, 295.
- Almeida, J. J. 2015. *Do extrativismo à domesticação: As possibilidades da Castanha-do-Pará*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. São Paulo. 304p.



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.

Alvarez, V.H.; Novais, R.F.; Dias, L.E.; Oliveira, J.A. 2000. Determinação e uso do fósforo remanescente. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 25: 27- 32.

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; De Moraes Gonçalves, J. L.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711–728.

Bacha,C.J.C. 2005. Eficácia da política de reserva legal no Brasil. *Teoria e Evidência Econômica*, .13.(25).p:9-27.

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.

Batson, P.E.1993. Carbon 1s near-edge-absorption fine structure in graphite. *Phys. Rev. B* 48, 042608–042610.

Barrow, C. J. 2012. Biochar: potential for countering land degradation and for improving agriculture. *Applied Geography*, 34, 21-28.

Bruun, E. W.; Petersen, C. T.; Hansen, E.; Holm, J. K.; Hauggaard-Nielsen, H. 2014. Biochar amendment to coarse sandy subsoil improves root growth and increases water retention. *Soil Use and Management*, 30, 109.

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

- 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.
- Camargo, O.A. Reações e interações de micronutrientes no solo. Micronutrientes na agricultura. 1991. p. 243–272.
- Camargos, S. L.; Muraoka, T.; Fernandes, S. A. P.; Salvador, J. O. 2002. Diagnose nutricional em mudas de castanheira-do-brasil. *Revista Agricultura Tropical*, 2002, 6, 81-96.
- Camargos, S.L. 1999. *Diagnose de deficiência, teor e acúmulo de nutrientes em castanheira-do-brasil*. Tese de Doutorado – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, São Paulo. 90p.
- Carvalho, M.T.M. ; Madari, B.E. ; Bastiaans, L. ; Van OORT, P.A.J. ; Leal, W.G.O. ; Heinemann, A.B. ; Da silva, M.A.S. ; MAIA, A.H.N. ; Parsons, D. ; Meinke, H. 2016. Properties of a clay soil from 1.5 to 3.5years after biochar application and the impact on rice yield. *Geoderma (Amsterdam)*, 276, 7-18.
- 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
- Costa, M. G.; Tonini, H.; Mendes Filho, P. 2017. Soil Attributes Related with Production of Brazil Nut Tree (*Bertholletia excelsa*). *Floresta e Ambiente*, 24. e20150042.
- Corrêa, V.M. 2013. *Crescimento, aspectos nutricionais e fotossintéticos de plantas jovens de Bertholletia excelsa H.B. submetidas à diferentes tratamentos de fertilização*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 66p.

- 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.
- Cruz Junior, O. F. 2010. *Produção de carvão ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas da região amazônica*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. Paraná. 75p.
- 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.
- Crutchfield, E. F. 2016. *Biochar's Effect on Plant Growth and Soil Nutrient Loss*. Tese de doutorado, University of California Riverside, Riverside, EUA. 118p.
- Damaceno, J.B.D. 2017. *Biocarvão e efeito residual de adubação fosfatada em mudas de castanheira-do-brasil (Bertholletia excelsa Bonpl.) em Latossolo da Amazônia*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Amazonas. 86p.
- Davanzo, V. M.; Souza, L. A.; Medri, M. E.; Pimenta, A.; Bianchini, E. 2002. Photosynthesis, Growth and development of *Tabebuia ovellanae* Lor. Ex Griseb. (Bignoniaceae) in flooded soil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 45: 375-384.
- Dharmakeerthi, R. S.; Chandrasiri, J. A. S.; Edirimanne, V. U. 2012. Effect of rubber wood biochar on nutrition and growth of nursery plants of *Hevea brasiliensis* established in an Ultisol. *SpringerPlus*, 1: 84-96.
- Dechen, A. R.; Nachtigall, G. R. 2006. Micronutrientes. In: Manlio Silvestre Fernandes. (Org.). *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 327-354.

- Dempster, D. N. 2013. *Biochar and the Soil Nitrogen Cycle: Unravelling the Interactions*. Doctoral dissertation, University of Western Australia. 193p.
- De Oliveira, J. M. F.; da Silva, A. J.; Schwengber, D. R.; Duarte, O. R. 1998. Respostas de mudas de Angelim-pedra (*Dinizia excelsa* Ducke) a nitrogênio e fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33(9), 1503-1507.
- Dickson, A.; Leaf, A. L.; Hosner, J. F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 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.
- Falesi, I.C. 1986. Estado atual de conhecimentos de solos da Amazônia brasileira. In: Anais do 1º Simpósio do Trópico Úmido. Vol. 1. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará. p. 168-191.
- Fan, M. X.; Mackenzie, A. F. 1993. Urea and Phosphate Interactions in Fertilizer Microsites: Ammonia Volatilization and pH Changes. *Soil Science Society of America Journal*, 57(3), 839.
- Falcão, N.P.S.; Comerford, N.; Lehmann, J. 2003. Determining Nutrient Bioavailability of Amazonian Dark Earth Soils — Methodological Challenges, In: Lehmann, J., Kern, D., Glaser, B., Wodos, W. (Eds.), *Amazonian Dark Earths*. Springer Netherlands, p. 255-270.
- Falcão, N.P.S.; Souza, L.A.G.; Oliveira, D.M. 2013 Efeito da adição de carvão e serragem em solo Latossolo Amarelo da Amazônia Central no desenvolvimento e nodulação do feijão caupí In Noda, H; Souza, L. A. G; Silva Filho, D. F. (Org.). *Pesquisas agronômicas para a agricultura sustentável na Amazônia Central*. 1ed. Manaus, Amazonas, cap.16.

- 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.
- Fernandes, M. S. 2006. Nutrição Mineral de Plantas. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v. 1.p.432.
- Fernandes, N. P.; J. C. Alencar, 1993. Desenvolvimento de árvores nativas em ensaios de espécies. 4. Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.), dez anos após o plantio. *Acta Amazonica* 23(2-3): 191-198.
- Fidel, R. B.; Laird, D. A.; Thompson, M. L.; Lawrinenko, M. 2017. Characterization and quantification of biochar alkalinity. *Chemosphere*, 167, 367-373.
- 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.
- Gai, X.; Wang, H.; Liu, J.; Zhai, L.; Liu, S.; Ren, T.; Liu, H. 2014. Effects of feedstock and pyrolysis temperature on biochar adsorption of ammonium and nitrate. *PLoS one*, 9(12), e113888.
- Gomes, I.B. 2012. *Respostas ecofisiológicas de plantas jovens de Bertholletia excelsa* Bonpl. submetidas à fertilização em plantio homogêneo. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 59p.
- Guimarães, R. D. S.; Padilha, F. J.; Cedano, J. C. C.; Damaceno, J. B. D.; Gama, R. T.; de Oliveira, D. M.; Teixeira, W. G.; Falcão, N. P. S. 2017. Efeito Residual de Biocarvão e Pó de Serra nos Teores de Carbono e Nitrogênio Total em Latossolo Amarelo na Amazônia. *Revista Virtual de Química*, 9, 1944-1956.

Glaser, B., Birk, J.J., 2012. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 82, 39-51.

Guo, W.; Huo, S.; Feng, J.; Lu, X. 2017. Adsorption of perfluorooctane sulfonate (PFOS) on corn straw-derived biochar prepared at different pyrolytic temperatures. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 78, 265-271.

Gonzaga, M. I. S.; Mackowiak, C. L.; Comerford, N. B.; da Veiga Moline, E. F.; Shirley, J. P.; Guimaraes, D. V. 2017. Pyrolysis methods impact biosolids-derived biochar composition, maize growth and nutrition. *Soil and Tillage Research*, 165, 59-65.

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

Hawkesford, M.; Horst, W.; Kichey, T.; Lambers, H.; Schjoerring, J.; Møller, I. S.; White, P. 2012. Functions of macronutrients. In *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition)* pp. 135-189.

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. 2001. As políticas públicas como indutora da “morte anunciada” dos castanhais no sudeste paraense. *Anais do Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica*, 4. , Belém. Anais. Rio de Janeiro: ECO-ECO, p. 01-15.

Homma, A. K. O.; Menezes, A.J.E.A. ; Maues, M. M. 2014. Brazil nut tree: the challenges of extractivism for agricultural plantations. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, 9. p:293-306.

Hollister, C. C. 2011. *Ammonium, nitrate and phosphate sorption to water-rinsed and non-rinsed biochars*. Dissertação de mestrado, Faculty of the Graduate School of Cornell University, EUA. 54p.

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.

Jassal, R. S.; Johnson, M. S.; Molodovskaya, M.; Black, T. A.; Jollymore, A.; Sveinson, K. 2015. Nitrogen enrichment potential of biochar in relation to pyrolysis temperature and feedstock quality. *Journal of environmental management*, 152, 140-144.

Jorio, A.; Ribeiro-Soares, J.; Cançado, L. G.; Falcao, N. P. S.; Dos Santos, H. F.; Baptista, D. L.; Achete, C. A. 2012. Microscopy and spectroscopy analysis of carbon nanostructures in highly fertile Amazonian anthrosoils. *Soil and Tillage Research*, 122: 61-66.

Joseph, S.; Kammann, C. I.; Shepherd, J. G.; Conte, P.; Schmidt, H. P.; Hagemann, N.; Mitchell, D. R. 2018. Microstructural and associated chemical changes during the composting of a high temperature biochar: Mechanisms for nitrate, phosphate and other nutrient retention and release. *Science of The Total Environment*, 618, 1210-1223.

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.

Kamprath, E. J. 1987. Enhanced Phosphorus Status of Maize Resulting from Nitrogen Fertilization of High Phosphorus Soils 1. *Soil Science Society of America Journal*, 51(6), 1522-1526.

Kammann, C. I.; Schmidt, H. P.; Messerschmidt, N.; Linsel, S.; Steffens, D.; Müller, C.; Joseph, S. 2015. Plant growth improvement mediated by nitrate capture in co-composted biochar. *Scientific reports*, 5, 11080.

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

Kern, D.C.; Aquino, G.D.; Rodrigues, T.E.; Frazão, F.J.L.; Sombroek, W.; Myers, T.P.; Neves, E.G. 2003. Distribution of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon. In: Lehmann, J.; Kern, D.C.; Glaser, B; Woods, W. *Amazonian Dark Earths – Origin – properties – management*. Chapter 4. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Kiba, T.; Krapp, A. 2016. Plant nitrogen acquisition under low availability: regulation of uptake and root architecture. *Plant and Cell Physiology*, 57(4), 707-714.

Korndörfer, G. H.; Pereira, H. S.; Camargo, M. S. 2003. *Silicatos de Ca e Mg na agricultura*. 2, ed. Uberlândia, 21p.

Lawrinenko, M. 2014. *Anion Exchange Capacity of Biochar*. Dissertação de Mestrado, Iowa State University, Iowa, EUA. 85p.

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

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: Lehmann, J.; Joseph, S (Eds). *Biochar for Environmental Management - Science and Technology*, 2nd edition. J. Lehmann and S. Joseph (eds.). Routledge.

Lehmann, J.; Da Silva Jr., J.; Steiner, C.; Nehls, T.; Zech, W.; Glaser, B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferrasol of the Central



Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, 249(2), 343-357.

Lepsch, I.F. 2011. Solos do Brasil. In: *19 lições de pedologia*. São Paulo, P.364.

Alling, V.; Hale, S. E.; Martinsen, V.; Mulder, J.; Smebye, A.; Breedveld, G. D.; Cornelissen, G. 2014. The role of biochar in retaining nutrients in amended tropical soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(5), 671-680.

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.

Liu, Z.; He, T.; Cao, T.; Yang, T.; Meng, J.; Chen, W. 2017. Effects of biochar application on nitrogen leaching, ammonia volatilization and nitrogen use efficiency in two distinct soils. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(2), 515-528.

Liang, B.; Lehmann, J.; Solomon, D.; Kinyangi, J.; Grossman, J.; O'Neill, B.; Neves, E. G. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1719-1730.

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

Lopes, N. F. ; Lima, M. G. S. Fisiologia da Produção. 1. ed. Viçosa: UFV, 2015. 492p.

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. (Eds.). *A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira*. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará/Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas, p. 73-87.

Madari, B. E.; SILVA, M.A.S. ; Carvalho, M.T.M. ; Maia, Aline H.N. ; Petter, F. A. ; Santos, J. L.S. ; Tsai, SIU M. ; Leal, W. G.O. ; Zeviani, Walmes M. 2017. Properties of a sandy clay loam Haplic Ferralsol and soybean grain yield in a five-year field trial as affected by biochar amendment. *Geoderma*, v. 305, p. 100-112.

Major, J.; Rondon, M.; Molina, D.; Riha, S. J.; Lehmann, J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and soil*, 333(1-2), 117-128.

- Malavolta, E. 1980. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. Ceres, São Paulo, 251p.
- Malavolta, E. 2006. Manual de nutrição mineral de plantas. Agronômica Ceres.
- Miranda, N. D. O.; Pimenta, A. S.; SILVA, G. G. C. D.; Oliveira, E.; MOTA, M.; Carvalho, M. A. B. D. 2017. Biochar as soil conditioner in the succession of upland rice and cowpea fertilized with nitrogen. *Revista Caatinga*, 30(2), 313-323.
- Marschner, P.; Rengel, Z. 2012. Nutrition availability in soils. In *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition)* pp. 135.
- Masud, M. M.; Jiu-Yu, L. I.; Ren-Kou, X. U. 2014. Use of alkaline slag and crop residue biochars to promote base saturation and reduce acidity of an acidic Ultisol. *Pedosphere*, 24(6), 791-798.
- Meurer, E. J. 2007. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. 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.66-86.
- Moraes, N. S.P.; Gonçalves, J.L.M.; Rodrigues, C.J.; Geres, W,L,A.; Ducatti, F.; Aguirre, J.R. J.H. 2003. Produção de mudas de espécies arbóreas nativas com combinações de adubos de liberação controlada e prontamente solúveis. *Revista Árvore*. 27:779–789.
- 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.
- Montes-Morán, M.A.; Suárez, D.; Menéndez, J.A.; Fuente, E. 2004. On the nature of basic sites on carbon surfaces: an overview. *Carbon* 42 (7):1219–1225.
- Moreira, A.; Teixeira, W. G ; Falcão, N. P. S. 2009. Métodos de caracterização química de amostras de horizontes antrópicos das terras pretas de índio. In: Teixeira, W.G.; Kern, D.C.; Madari, B.E.; Lima, H.N.; Woods, W.I. (org.). *As terras pretas de índio da amazônia; caracterização e uso destes conhecimentos na criação de novas áreas*. 1ed. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, v. 1, 190-200p.
- Mohamed, I.; El-Meihy, R.; Ali, M.; Chen, F.; Raleve, D. 2017. Interactive effects of biochar and micronutrients on faba bean growth, symbiotic performance, and soil properties. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 180(6), 729-738.
- Mohamed, I.; Zhang, G. S.; Li, Z. G.; Liu, Y.; Chen, F.; Dai, K. 2015. Ecological restoration of an acidic Cd contaminated soil using bamboo biochar application. *Ecological Engineering*, 84, 67-76.

Nelson, N. O.; Agudelo, S. C.; Yuan, W.; Gan, J. 2011. Nitrogen and phosphorus availability in biochar-amended soils. *Soil Science*, 176(5), 218-226.

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.

Novotny, E. H.; Maia, C. M. B. F.; Carvalho, M. T.M.; Madari, B.E. 2015. Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use - a critical review. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* (Online), 39(2): 321-344.

Noguera, D.; Barot, S.; Laossi, K. R.; Cardoso, J.; Lavelle, P.; de Carvalho, M. C. 2012. Biochar but not earthworms enhances rice growth through increased protein turnover. *Soil Biology and Biochemistry*, 52, 13-20.

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.

Obia, A.; Cornelissen, G.; Mulder, J.; Dörsch, P. 2015. Effect of soil pH increase by biochar on NO, N<sub>2</sub>O and N<sub>2</sub> production during denitrification in acid soils. *PLoS one*, 10(9), e013878

Oliveira, C.J.; Pereira, W.E; Mesquita, F.O.; Medeiros, J.S.; Alves, A. S. 2011. Crescimento inicial de mudas de açaizeiro em resposta a doses de nitrogênio e potássio. *Revista Verde de Agroecologia*. 6:227–237.

Oliveira, D.; Falcão, N. Souza, L. 2010. Efeito do resíduo de carvão vegetal e pó de serra no crescimento vegetativo e na nodulação do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) em Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia Central. *REUNIÃO CIENTÍFICA DA REDE CTPETRO AMAZÔNIA*, 3, 1-11.

Oliveira, D. M. 2012. *Biocarvão de bambu e fontes de fósforo afetando a disponibilidade de P e o crescimento de feijão caupi e milho em latossolo amarelo distrófico da Amazônia*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Amazonas. 25p.

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

- Oliveira, J. B.; Jacomine, P. K. T.; Camargo, M. N. 1992. Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu conhecimento. Funep, Jaboticabal. 201p.
- Oliveira, F. R.; Patel, A. K.; Jaisi, D. P.; Adhikari, S.; Lu, H.; Khanal, S. K. 2017. Environmental application of biochar: Current status and perspectives. *Bioresource Technology*, 246, 110.
- Paixão, M. A. S.; Bacha, C. J. C. 2015. A agropecuária brasileira e a sua inserção na Economia Verde: uma análise do Plano e do Programa ABC. *Pesquisa & Debate*, v. 1, 75-98p.
- Palm, C.; Sanchez, P.; Ahamed, S.; Awiti, A. 2007. Soils: A contemporary perspective. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 32, 99-129.
- Petter, F. A.; Ribeiro andrade, F.; Marimon Junior, B. H.; Gonçalves, L. G. Schossler, T. R. 2012. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de eucalipto. *Revista Caatinga*, 25(4).44-51.
- Petter, F. A.; Madari, B. E. 2012. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(7), 761-768.
- Phares, R, E. 1964. *Mineral nutrition of forest tree seedlings*. Tese de doutorado, Iowa State University, EUA. 199p.
- Quesada, C. A.; Lloyd, J.; Anderson, L. O.; Fyllas, N. M.; Schwarz, M.; Czimczik, C. I. 2011. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences*, 8, 1415–1440.
- Rader, L. F.; White, L. M.; Whittaker, C. W. 1943. The salt index-A measure of the effect of fertilizers on the concentration of the soil solution. *Soil Sci*, 55(4), 201-218.
- 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.
- Razaq, M.; Shen, H. L.; Sher, H.; Zhang, P. 2017b. Influence of biochar and nitrogen on fine root morphology, physiology, and chemistry of Acer mono. *Scientific reports*, 7(1), 5367.
- Raij, B. van.; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. 2001. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais* 2001: Instituto Agrônomo, Campinas, 285p.
- Rezende, E. I. P. D. 2013. *Preparação e caracterização química e espectroscópica de "Biochar" por pirólise de biomassa em baixa temperatura*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná. 169p.

- Rodrigues, T.E. Solos da Amazônia. 1996. In: Alvarez, V.H.;Fontes, L.E.F; Fontes, M.P.F. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa, MG, Sociedade brasileira de ciência do solo. 19-60p.
- Santos, G.H. 2013. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3ed. Brasília, 353p.
- Santos, R.A, Franco, C.A.; Adílson F, Hara S, Gomes W, Silva D. 2008. Adubação fosfatada para a produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). *Acta Amazônica*. 453:453–458.
- Santiago, W. R.; Vasconcelos, S. S.; Kato, O. R.; Bispo, C. J. C.; Rangel-Vasconcelos, L. G. T.; Castellani, D. C. 2013. Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental. *Acta Amazonica*, 43(4)., 395-406.
- Sanchez, P.A. 2017. *Properties and Management of Soils in the Tropics*, Second Edition. Cambridge University Press, New York.
- Sanchez, P. A.; Bandy, D. E.; Villachica, J. H.; Nicholaides, J. J. 1982. Amazon Basin soils: management for continuous crop production. *Science*,216 (4548), 821-827.
- Santos, R. D.; Lemos, R. D.; Santos, H. D.; Ker, J.; Anjos, L. D. 2013. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. Viçosa. SBCS/EMBRAPA/CNPS.102p.
- Sarruge, J.R.; Haag, H.P. 1974. *Análises químicas em plantas*. ESALQ, Departamento de Química, Piracicaba. 56p.
- Silva, F. C. D. S. 2009. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2a.ed., Embrapa Informação Tecnológica: Brasília.627p.
- Silva, F.A.S.; Azevedo, C.A.V. 2016. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *Afr. J. Agric. Res.* Vol. 11(39), p. 3733-3740, 29.
- Silva, I. R.; Mendonça, E. de Sá . Matéria Orgânica do Solo. In: Novais, R.F.; Alvarez V., V.H.; Barros, N.F.; Ferreira, R.L.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L.. (Org.). *Fertilidade do Solo*. 1ed.Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, v. , p. 275-374.
- Sombroek, W.G.; Ruivo, M.L.; Fearnside, P.M.; Glaser, B.; Lehmann, J. 2003. Amazonian Dark Earths as carbon stores and sinks. *In.*: Lehmann, J.; Kern, D.C.; Glaser, B.; Woods, W.I. (Eds.). *Amazonian Dark Earths: origin, properties, and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p.125-139.
- Steiner. C, Glaser B, Teixeira, W. G, Lehmann, J.; Blum, W.E.H, Zech W. 2008. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol

amended with compost and charcoal. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*.171:893–899.

Sigua, G. C.; Stone, K. C.; Hunt, P. G.; Cantrell, K. B.; Novak, J. M. 2015. Increasing biomass of winter wheat using sorghum biochars. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 739-748.

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.

Souza, S. R.; Fernandes, M, S. 2006. Nitrogênio. In: Fernandes, M.S (Org.). *Nutrição Mineral de Plantas*. 1ed.Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 215-252.

Sombroek, W.G. 1966. Amazon Soil: A Reconnaissance of the Soils of the Brazilian Amazon Region. Centre for agricultural publication and documentation, Wageningen, 63-111p.

Souza, C. A. S.; Tucci, C. A. F.; Silva, J. F.;Ribeiro, W. O. 2010. Nutritional requirements and growth of mahogany (*Swietenia macrophylla* King.) plants. *Acta Amazônica* 40:512-522.

Schaetzl, R. J. Anderson, S. 2005. Soil genesis and profile differentiation. In: Schaetzl, R. J. Anderson. *Soils genesis and geomorphology*. Cambridge University Press, New York p. 348-461.

Schulz, H.; Glaser, B. 2012. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*.175:410–422.

Shuman, L.M. 1991. Chemical forms of micronutrients in soils. *Micronutrients in agriculture*.113–144.

Taghizadeh-Toosi, A.; Clough, T. J.; Sherlock, R. R.; Condon, L. M. 2012a. A wood based low-temperature biochar captures NH<sub>3</sub>-N generated from ruminant urine-N, retaining its bioavailability. *Plant and Soil*, 353(1-2), 73-84.

Taghizadeh-Toosi A.; Clough,T.J.; Sherlock, R.R.; Condon, L.M. 2012b. Biochar adsorbed ammonia is bioavailable. *Plant and Soil*, 350:57–69.

Twyman, E.S. 1946. The iron-manganese balance and its effect on the growth and development of plants. *New Phytologist*.45:18–24.

Tan, Z.; Ye, Z.; Zhang, L.; Huang, Q. 2018. Application of the<sup>15</sup>N tracer method to study the effect of pyrolysis temperature and atmosphere on the distribution of biochar

- nitrogen in the biomass–biochar–plant system. *Science of the Total Environment*, 622–623, 79.
- Tonini, H.; M. M. C. Oliveira, J.R; D. Schwengber. 2008. Crescimento de espécies nativas da Amazônia submetidas ao plantio no estado de Roraima. *Ciência Florestal* 18(2): 151-158.
- van Zwieten, L.,; Kimber, S.; Morris, S.; Chan, K.Y.; Downie, A.; Rust, J.; Joseph, S.; Cowie, A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*.327:235–246.
- Vieira, L.S. 1975. Manual da ciência do solo. São Paulo: Agronômica Ceres.
- Vieira, L.S.; Santos, P.C.T. 1987. Amazônia: seus solos e outros recursos naturais. Agronômica Ceres, São Paulo. 416pp.
- Yang, J.; Li, H.; Zhang, D.; Wu, M.; Pan, B. 2017. Limited role of biochars in nitrogen fixation through nitrate adsorption. *Science of The Total Environment*, 592, 758-765.
- Yuan, J. H.; Xu, R. K.; Zhang, H. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresource technology*, 102(3), 3488-3497.
- Qian, T.; Wang, Y.; Fan, T.; Fang, G.; Zhou, D. 2016. A new insight into the immobilization mechanism of Zn on biochar: the role of anions dissolved from ash. *Scientific reports*, 6, 33630.
- Wambeke, A. V.; Eswaran, H.; Herbillon, A. J.; Comerma, J. 1983. Oxisols. *Pedogenesis and Soil Taxonomy*. II - The Soil Orders, 11, 325.
- Widowati, W.; Asnah, A.; Utomo, W. H. 2014. The use of biochar to reduce nitrogen and potassium leaching from soil cultivated with maize. *journal of degraded and mining lands management*, v. 2, n. 1, p. 211-218.
- Williams, M. I.; Dumroese, R. K.; Page-Dumroese, D. S.; Hardegree, S. P. 2016. Can biochar be used as a seed coating to improve native plant germination and growth in arid conditions?. *Journal of Arid Environments*, 125, 8-15.
- White, P. J. 2012. Ion Uptake Mechanisms of Individual Cells and Roots: Short-distance Transport. In *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition)* .p.17-58.
- Velho, O.G. 1972. Frentes de expansão e estrutura agrária. Estudo do processo de penetração numa área da Transamazônica. Rio de Janeiro: Editora Zahar. p.178.
- 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.; Sun, J.; Shao, H.; Chang, S. X. 2014. Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity. *Ecological engineering*, 62, 54-60.
- 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.
- Zhang, G.; Guo, X.; Zhu, Y.; Han, Z., He, Q.; Zhang, F. 2017. Effect of biochar on the presence of nutrients and ryegrass growth in the soil from an abandoned indigenous coking site: The potential role of biochar in the revegetation of contaminated site. *Science of the Total Environment*, 601, 469-477.
- Zhang, R.; Zhang, Y.; Song, L.; Song, X.; Hänninen, H.; Wu, J. 2017. Biochar enhances nut quality of *Torreya grandis* and soil fertility under simulated nitrogen deposition. *Forest Ecology and Management*, 391, 321-329.
- Zheng, H.; Wang, Z.; Deng, X.; Herbert, S.; Xing, B. 2013. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma*, 206, 32-39.
- 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.
- Zheng, J.; Stewart, C. E.; Cotrufo, M. F. 2012. Biochar and nitrogen fertilizer alters soil nitrogen dynamics and greenhouse gas fluxes from two temperate soils. *Journal of environmental quality*, 41(5), 1361-1370.



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

F.V	G.L	Quadrados médios							
		pH	H + Al <sup>3</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB	t	V%	m%	T
Fator BC	1	6,20**	0,171**	0,0007**	0,27**	0,190**	2489,92**	510,60**	0,01 <sup>ns</sup>
Fator N	3	1,31**	0,075**	0,0003 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	155,89*	21,03 <sup>ns</sup>	0,09**
BC X N	3	0,18*	0,152*	0,0001 <sup>ns</sup>	0,012 <sup>ns</sup>	0,013 <sup>ns</sup>	330,46**	11,68 <sup>ns</sup>	0,18**
Tratamento	7	1,53	0,122	0,0012	0,045	0,033	564,14	86,98	0,12
Resíduo	24	0,06	0,015	0,0035	0,005	0,006	39,66	7,49	0,01
Total	31								
Media		5,82	0,54	0,01	0,46	0,47	47,03	4,25	1
CV%		4,23	22,88	69,5	16,41	16,28	13,39	64,32	13,6

\*\* 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 + Al<sup>3</sup>**: Acidez potencial; **Al<sup>3+</sup>**: 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 no solo.

F.V	G.L	Quadrados Médios							
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn
Fator BC	1	26,53 **	1288,28**	0,0919**	0,051**	0,0004 <sup>ns</sup>	2056,00 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>	0,37**
Fator N	3	2,50 <sup>ns</sup>	190,48 <sup>ns</sup>	0,0002*	0,004 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	4307,29 <sup>ns</sup>	0,4336**	0,37**
BC X N	3	2,52 <sup>ns</sup>	350,87*	0,00007 <sup>ns</sup>	0,013*	0,0010*	8284,54*	0,7653**	0,13**
Tratamento	7	5,94	416,05	0,01327	0,015	0,00052	5690,22	0,513	0,27
Resíduo	24	1,47	116,27	0,00006	0,004	0,00026	2378,77	0,045	0,01
Total	31								
Média		12,87	37,29	0,08	0,23	0,13	208,78	1,07	0,44
CV%		9,43	28,92	8,67	27,39	11,77	23,36	19,83	23,95

\*\* 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 biométricos.

F.V	G.L	Quadrados Médios										
		TCR-a	TCR-d	TCA-a	TCA-d	CA-a	CA-d	Pmspa	Pmsr	PMST	Pmspa/Pmsr	IQD
Fator BC	1	0,0004 <sup>ns</sup>	0,00016 <sup>ns</sup>	2,96 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	12,53 <sup>ns</sup>	0,30	27,80 <sup>**</sup>	50,22 <sup>**</sup>	66,58 <sup>ns</sup>	11,51 <sup>**</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
Fator N	3	0,0034 <sup>ns</sup>	0,06848 <sup>ns</sup>	1,72 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	50,10 <sup>ns</sup>	0,64	36,06 <sup>**</sup>	8,77 <sup>ns</sup>	30,33 <sup>ns</sup>	3,76 <sup>**</sup>	0,41 <sup>ns</sup>
BC X N	3	0,0127 <sup>*</sup>	0,15376 <sup>ns</sup>	11,07 <sup>*</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	283,40 <sup>*</sup>	9,66 <sup>*</sup>	56,12 <sup>**</sup>	29,76 <sup>**</sup>	82,12 <sup>ns</sup>	6,03 <sup>**</sup>	0,29 <sup>ns</sup>
Tratamento	7	0,006	0,09879	5,90	0,10	144,66	4,46	43,48	23,29	57,71	5,84	0,32
Resíduo	24	0,003	0,0696	2,55	0,08	63,66	2,29	2,37	3,87	133,22	0,45	0,16
Total	31											
Média		0,10	1,64	3,39	0,66	22,01	4,33	10,60	6,54	18,83	1,93	1,26
CV%		54,18	16,08	47,07	44,13	36,24	34,97	14,53	30,07	61,30	34,93	31,99

\*\* e \* significativo a 1 e 5% pelo 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. Taxa de crescimento relativo em altura (TCR-a), Taxa de crescimento relativo em diâmetro (TCR-d) Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA-a), Taxa de crescimento absoluto em diâmetro (TCA-d) , Taxa de crescimento relativo em altura (TCR-a), Taxa de crescimento relativo em diâmetro (TCR-d), crescimento absoluto em altura (CA-a) e crescimento absoluto em diâmetro (CA-d) Peso da matéria seca da parte superior (PMSPA), Peso da matéria seca das raízes (PMSR) e Peso da matéria seca total (PMST) relação parte área e raiz (Pmspa/Pmsr) e índice de qualidade de Dickson(IQD).

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

F.V	G.L	Quadrados Médios							
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn
Fator BC	1	54,10 **	0,0034 <sup>ns</sup>	14,40**	3,15**	0,033 <sup>ns</sup>	66870,98**	0,42ns	359,99**
Fator N	3	2,55 <sup>ns</sup>	0,0086 <sup>ns</sup>	2,65 <sup>ns</sup>	1,64*	0,043 <sup>ns</sup>	5369,04**	7,33*	22,03ns
BC X N	3	4,43 <sup>ns</sup>	0,0006*	2,34 <sup>ns</sup>	1,19*	0,041 <sup>ns</sup>	5893,15**	4,48ns	48,85**
Tratamento	7	10,72	0,0044	4,19	1,66	0,040	14379,65	5,12	81,80
Resíduo	24	2,12	0,021	0,94	0,38	0,035	581,49	1,88	11,56
Total	31								
Média		18,11	0,67	6,87	2,78	1,37	125,28	8,71	16,95
CV%		8,04	21,83	14,13	22,23	13,63	19,25	15,75	20,05

\*\* 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.