



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO E COMUNICAÇÕES - MCTIC
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO - PPGATU

BIOCARVÃO E ADUBAÇÃO FOSFATADA SOB A FERTILIDADE DO SOLO E
CRESCIMENTO DE MUDAS CLONAIIS DE CAFÉ CONILON

WYLLKER CRUZ DE CASTRO

Manaus, Amazonas
Dezembro, 2020

WYLKER CRUZ DE CASTRO

BIOCARVÃO E ADUBAÇÃO FOSFATADA SOB A FERTILIDADE DO SOLO E
CRESCIMENTO DE MUDAS CLONAIS DE CAFÉ CONILON

Orientador: Dr. Newton Paulo de Souza Falcão

Coorientadora: Dra. Danielle Monteiro de Oliveira

Coorientador: Dr. Cesar Augusto Ticona Benavente

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura no Trópico Úmido.

Manaus, Amazonas
Dezembro, 2020

Folha de aprovação

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

**TÍTULO: "BIOCARVÃO E ADUBAÇÃO FOSFATADA SOB A
FERTILIDADE DO SOLO E CRESCIMENTO DE MUDAS C
LONAIAS DE CAFÉ CONILON"**

AUTOR (A):

WYLLKER CRUZ DE CASTRO

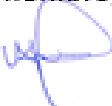
BANCA JULGADORA:



Dr. LUIZ ANTONIO DE OLIVEIRA (INPA)
(Membro)



Dra. SÔNIA SÊNA ALFAIA (INPA)
(Membro)



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

Manaus, 21 de dezembro de 2020

C355b Castro, Wylker Cruz de Castro

Biocarvão e adubação fosfatada sob a fertilidade do solo e crescimento de mudas clonais de café conilon / Wylker Cruz de Castro; orientador Newton Paulo de Souza Falcão; coorientadores Danielle Monteiro de Oliveira, Cesar Augusto Ticona Benavente. - Manaus:[s. l.], 2022.

1.4 MB

57 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido – PPG-ATU) - Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2022.

1. Fertilidade do solo. 2. Biocarvão. 3. Café conilon. I. Falcão, Newton Paulo de Souza. II. Oliveira, Danielle Monteiro de. III. Benavente, Cesar Augusto Ticona. IV. Título

CDD 633.73

Sinopse: Estudou-se o efeito do biocarvão e da adubação fosfatada em clones de café conilon na fase inicial. Aspectos como crescimento, biomassa seca de raízes e parte aérea, teor de nutrientes no material vegetal e no solo.

Palavras-chave: café conilon, biocarvão, adubação fosfatada

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha família, minha
inspiração nos dias bons e ruins.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar meus passos, dar proteção e forças para vencer os obstáculos da vida.

Aos meus pais, Marcos Castro (*in memoriam*) e Luciene Castro pelo amor incondicional, pelos momentos de felicidade, pelos conselhos e ensinamentos que me fizeram ser honesto e capaz de tomar decisões corretas. E que mesmo longe acompanharam as minhas preocupações, angústias e sempre me confortaram ao longo das minhas caminhadas.

Aos meus irmãos Lorrane Castro e Matheus Castro, pelo carinho, paciência e por estarem sempre cuidando de nossa mãe.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, seu corpo docente, direção e administração pela oportunidade de fazer este mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido pelo apoio em desenvolver a agronomia na Região Amazônica.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo financiamento do projeto que subsidiou o presente estudo.

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

Ao meu orientador, Dr. Newton Paulo de Souza Falcão pela oportunidade de realizar esse trabalho e pelos seus ensinamentos.

Ao meu coorientador, Dr. Cesar Augusto Ticona Benavente, pela paciência e dedicação em seus ensinamentos estando sempre disposto a sanar minhas dúvidas. Os seus ensinamentos me fizeram ver de forma mais clara a importância do trabalho para os agricultores do Amazonas.

A minha coorientadora, Dra. Danielle Monteiro, pela paciência e por ter contribuído na produção desse trabalho.

Ao coordenador do mestrado, Dr. Rogério Hanada, por sua dedicação em transmitir o conhecimento e por sempre estar disposto a nos ajudar.

Ao técnico Mozanei Porfirio da Trindade que contribuiu em quase todas as etapas desse trabalho e que sempre me incentivou a concluir esse trabalho.

Aos técnicos do Laboratório Temático de Solos e Plantas, Erison Gomes, Jonas Moraes, Laura Oliveira, Roberta Silva, Gabriela Carvalho e José Edivaldo Chaves

A família Queiroz por ter me adotado no período que estive em Manaus, sou eternamente grato por ter compartilhado momentos felizes e também por ter recebido conforto nos momentos de dor.

Ao irmão que Manaus me deu, Railson Queiroz, por todo apoio, carinho e respeito. A sua amizade foi essencial para eu me tornar uma pessoa ainda melhor.

A minha querida Ivone Ketura pelo carinho, paciência e por me incentivar em vários momentos.

Ao Aleixo e Rubia Negrão que juntos acreditaram em mim e me incentivaram a realizar este trabalho.

Ao Dr. Pablo Coutinho e ao Me. Jonilson Trindade por me fazerem acreditar que seria possível concluir esse trabalho.

Aos amigos de república Valdir Junior, Marina Deon e Vitor Schunemann pelos momentos felizes e pelo apoio nos dias difíceis.

Ao Eng. Agrônomo Rafael Santos, vulgo Paulo, por me incentivar a não desistir e por contribuir na produção desse trabalho.

Ao Eng. Agrônomo Tiago Peniche por me ajudar em um momento de dificuldade, desejo sorte em sua vida.

A Ma. Julyane Pires, pelo carinho e apoio ao longo desses dois anos.

A todos e todas camaradas da Associação Atlético Amazonas, em especial, Edney Viana, Isaias Batista, Wennos Garcia, Geter Garcia, Marcelo Pardo, Ramon Garcia e Moysés Alves (vulgo bandeco) por todo apoio.

Ao Dr. Lucídio Santos, pelas suas sábias palavras e por me apoiar em momentos de adversidade.

Ao Me. Luiz Dias Junior, pelas conversas, momentos de descontração e por todo apoio durante o mestrado.

Ao Eng. Agrônomo Thiago Moraes por me ajudar na retirada do experimento e na produção das fotos.

A minha amiga, Bianca Diniz que foi responsável pela elaboração do mapa de localização da área de estudo.

A todos amigos e parceiros do Grupo Terra Preta Nova, em especial a Ma. Maylla Sprey e Me. Bruno Rosa.

Aos meus amigos Sullivan Souza e Paulo Marajó que somem e do nada aparecem, pela energia positiva e pelos momentos de descontração.

A todas as pessoas que tive o prazer de conhecer na Associação Nacional de Pós-graduandos – ANPG, em especial o Me. Taiguã Pereira.

A todos, que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho, meu sincero agradecimento.

Esforça-te, e tem bom ânimo; não temas, nem te espantes; porque o Senhor teu Deus é contigo, por onde quer que andares. Josué 1:9

RESUMO

O biocarvão associado a adubação fosfatada reduz a adsorção do fósforo e o torna mais disponível para as culturas absorverem, desta forma ocorre o aumento da eficiência de uso desses adubos. Neste trabalho, objetivou-se determinar a influência do biocarvão e fosforo na fertilidade do solo, na nutrição e no crescimento vegetativo de mudas de café conilon. O experimento foi conduzido em ensaio fatorial (2x2x3). Sendo o fator A: dois clones de café conilon (C - 120 e C - 199); fator B: duas doses de biocarvão (0 e 40 t ha⁻¹) e o fator C: duas fontes de fósforo (superfosfato simples-SFS e superfosfato triplo-SFT) e um tratamento controle sem biocarvão e sem adubação com P. O delineamento inteiramente casualizado (DIC) foi adotado, com doze tratamentos e oito repetições, sendo cada unidade experimental composta de um vaso de 5L com uma muda. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação com irrigação manual diária. Foram avaliadas mensalmente: altura das mudas, diâmetro do coleto e número de folhas. Após 6 meses foi avaliada a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes. Com esses dados foram calculados: ganho foliar, ganho absoluto em altura, ganho absoluto em diâmetro, taxa de crescimento em altura, taxa de crescimento do diâmetro e matéria seca total. Para avaliar a nutrição das plantas foram determinados os teores de macronutrientes presentes nas folhas, para avaliar a fertilidade do solo foram determinados os teores de macronutrientes e a partir desses dados calculou-se a soma de bases trocáveis, CTC efetiva e a saturação por bases. O superfosfato simples (SFS) é o fertilizante fosfatado mais eficiente para produzir mudas de café conilon quando utilizada a dose 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A aplicação do SFS proporcionou os maiores incrementos na altura da planta e na área foliar, o mesmo efeito foi observado nos nutrientes foliares. O biocarvão tem efeitos específicos sobre alguns nutrientes do solo aumentando os teores de N, Mg e diminuindo a acidez potencial. E também foi observado um aumento no teor de nitrogênio na planta, porém não influenciou o crescimento da muda. Houve efeito sinérgico do biocarvão-SFS e biocarvão-SFT para aumentar os teores de cálcio, magnésio, potássio, nitrogênio, e conseqüentemente, tem a capacidade de elevar a soma das bases, CTC efetiva e saturação por bases. O genótipo mais adequado para produzir mudas em casa de vegetação em Manaus foi o clone BRS Ouro Preto C-120.

Palavras-chave: resíduo, fósforo, desenvolvimento inicial

ABSTRACT

The biochar associated with phosphate fertilization reduces the adsorption of phosphorus and makes it more available for the crops to absorb, thus increasing the efficiency of use of these fertilizers. This work aimed to determine the influence of biochar and phosphorus on soil fertility, nutrition and vegetative growth of conilon coffee seedlings. The experiment was conducted in a factorial test (2x2x3). Factor A: two clones of conilon coffee (C - 120 and C - 199); factor B: two doses of biochar (0 and 40 t ha⁻¹) and factor C: two sources of phosphorus (single superphosphate-SFS and triple superphosphate-SFT) and a control treatment without biochar and without fertilization with P. completely randomized (DIC) was adopted, with twelve treatments and eight repetitions, with each experimental unit composed of a 5L pot with a seedling. The work was carried out in a greenhouse with daily manual irrigation. They were evaluated monthly: height of seedlings, diameter of the collection and number of leaves. After 6 months, the dry matter production of the aerial part and roots was evaluated. With these data were calculated: leaf gain, absolute gain in height, absolute gain in diameter, growth rate in height, growth rate in diameter and total dry matter. To assess plant nutrition, the levels of macronutrients present in the leaves were determined, to assess soil fertility, the levels of macronutrients were determined and from these data the sum of exchangeable bases, effective CTC and base saturation were calculated. Simple superphosphate is the most efficient phosphate fertilizer for producing conilon coffee seedlings when the 250 kg ha⁻¹ dose of P₂O₅ is used. The application of SFS provided the largest increases in plant height and leaf area, the same effect was observed in leaf nutrients. Biochar has specific effects on some soil nutrients, increasing the levels of N, Mg and decreasing the potential acidity. An increase in the nitrogen content of the plant was also observed, but it did not influence the growth of the seedling. There was a synergistic effect of biochar-SFS and biochar-SFT to increase the levels of calcium, magnesium, potassium, nitrogen, and consequently, it has the ability to increase the sum of bases, effective CTC and base saturation. The most suitable genotype to produce seedlings in a greenhouse in Manaus was the BRS Ouro Preto C-120 clone.

Keywords: residue, phosphorus, early development

Lista de Figuras

Figura 1. Localização da área de estudo.....	23
Figura 2. Solo seco ao ar sendo peneirado em malha de 4,0 mm com 50g de biocarvão.	25
Figura 3. Avaliação da altura (A) e do diâmetro (B) em mudas com folhas expandidas.....	26
Figura 4. Pesagem das raízes (A) e folhas frescas (B) antes secadas em estufa a 60°C por 48 horas (C).	27
Figura 5. Método utilizado para a determinação do teor de P. Pesagem das amostras secas e trituradas de folhas de café conilon (A). Material sendo submetido a digestão nitro-perclórica (B). Determinação do P por espectrofotometria (C).....	28

Lista de tabelas

Tabela 1. Propriedades químicas e físicas do Latossolo Amarelo distrófico coletado da Estação Experimental de Fruticultura Tropical/INPA a 45 km de Manaus. 2019.....	23
Tabela 2. Propriedades químicas do biocarvão da Termoelétrica BK Energia. Itacoatiara-AM. 2019.....	24
Tabela 3. Composição dos tratamentos utilizados num vaso com 5 kg de Latossolo Amarelo distrófico.	24
Tabela 4. Concentrações dos fertilizantes aplicados adicionalmente ao solo.	25
Tabela 5. Médias do ganho foliar (GF), ganho absoluto em altura (GAA), ganho absoluto em diâmetro (GAD), taxa de crescimento absoluto em altura (TCAA), taxa de crescimento absoluto em diâmetro (TCAD), matéria seca das raízes (MSR), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST).	31
Tabela 6. Teores de fósforo (P) na parte aérea de dois genótipos de café conilon sobre a influência do biocarvão e fontes de P.....	32
Tabela 7. Teores de Nitrogênio (N) e Potássio (K) na parte aérea de dois genótipos de café conilon sobre a influência do biocarvão e fontes de P.	33
Tabela 8. Médias do potencial hidrogeniônico (pH), Alumínio trocável (Al), acidez potencial (H+Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), nitrogênio (N), soma das bases (SB) e saturação por bases (v%) sobre a influência das interações entre biocarvão, fontes de fósforo e genótipo.....	34
Tabela 9. Médias do teor de fósforo no solo (P) sobre a influência das interações entre biocarvão, fontes de fósforo e genótipo.	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. Solos da Amazônia	14
2.1.1. Latossolos.....	14
2.2. Biocarvão	15
2.3. Fósforo	16
2.3.1. Fósforo em solos tropicais	17
2.3.2. Fontes de fósforo.....	17
2.4. A cultura do café.....	19
2.4.1. Características do café conilon “BRS Ouro Preto”	20
2.4.2. Influência do fósforo no café	20
3. OBJETIVOS	22
3.1. Geral.....	22
3.2. Específicos	22
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1. Local	23
4.3. Biocarvão	24
4.4. Material vegetal	24
4.5. Tratamentos e delineamento experimental (trocar tabela).....	24
4.6. Instalação e condução	25
4.7. Parâmetros avaliados	26
4.7.1. Avaliações biométricas das plantas.....	26
4.7.2. Avaliação da biomassa	27
4.7.3. Análise química de tecido vegetal.....	27
4.7.4. Análise dos atributos químicos do solo.....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6. CONCLUSÃO.....	39
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
Anexo 1	51
Anexo 2	52
Anexo 3	53

1. INTRODUÇÃO

As principais classes de solos amazônicos são os Latossolos e Argissolos. Estes apresentam elevados teores de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, baixa capacidade de troca de cátions, acidez elevada, baixos teores de bases trocáveis (Ca, Mg, K e Na) e fósforo disponível. Por isso, para cultivar café na Amazônia é imprescindível incorporar no solo aditivos que melhorem a fertilidade do solo.

Uma forma prática de aumentar a fertilidade é incorporando biocarvão (BC). Tem-se demonstrado que ele pode aumentar o pH, reter nutrientes, e disponibilizá-los para a planta (Lehmann e Joseph 2009). O biocarvão é produzido a partir da conversão termoquímica de biomassa vegetal ou animal, com suprimento limitado de oxigênio sobre temperaturas em torno de 500°C (Lehmann e Joseph 2009). Sua estrutura é porosa com capacidade de neutralizar a superfície dos argilominerais responsáveis pela adsorção de nutrientes (Sigua *et al.* 2016; Andrade *et al.* 2016).

Apesar dessas propriedades do biocarvão é necessário ajustar as doses tanto do BC como dos outros nutrientes, de forma que não exista efeito antagônico entre ambos. No estudo de Lusiba *et al.* (2017), foi observado que o tratamento que combinava BC (5 t ha⁻¹) com P (90 t ha⁻¹) apresentou os maiores ganhos de matéria seca em plântulas de grão-de-bico. Além disso, o uso do biocarvão combinado com fertilizantes nitrogenados também se mostrou eficiente quanto ao ganho de matéria seca de arroz, onde o tratamento com as doses 6 t ha⁻¹ de BC e 30 t ha⁻¹ de N tiveram os maiores rendimentos (Oladele *et al.* 2019). Corroborando com estes estudos, Widowati e Asnah (2014) observaram que o BC (30 t ha⁻¹) combinado ao KCl (50 t ha⁻¹) proporcionou o maior ganho de matéria seca do milho quando comparado ao tratamento controle.

Para o cafeeiro canéfora (*Coffea canephora*) são escassos os estudos sobre o efeito do BC na produção de mudas. No entanto, estudos com mudas de outras espécies vem mostrando um efeito positivo do biocarvão no crescimento e no ganho de matéria seca, tais como angico (Lima *et al.* 2016), teca (Rezende *et al.* 2016) e castanha-do-Brasil (Damaceno 2018).

A produção de mudas saudáveis e vigorosas é um requisito indispensável para a implantação de lavouras de café. Desta forma, este trabalho testou os efeitos do biocarvão, fontes fosfatadas e do genótipo. Sendo avaliado a interação desses três fatores na fertilidade do solo, na nutrição da planta e no crescimento das mudas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Solos da Amazônia

A Amazônia Legal engloba uma área de aproximadamente 5,5 milhões de km², representando 61% do Brasil, geopoliticamente é composta pelos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, e parte dos estados do Maranhão e Mato Grosso (Martha Júnior *et al.* 2011). Os solos dessa região segundo Schaefer *et al.* (2000), estão localizados basicamente em dois ecossistemas: "várzea" e "terra firme".

A várzea amazônica é composta de plintossolos (376.260 km²) e gleissolos (314.450 km²). Eles são eutróficos com elevada capacidade de troca de cátions e teores de cátions trocáveis (Lima, 2001).

Os solos de terra firme amazônica são compostos principalmente pelos Latossolos (2.097.160 km²) e Argissolos (1.559.850 km²), juntos representam cerca de 75% dos solos da região. Os solos pertencentes a essas duas classes apresentam um estágio avançado de intemperismo com predominância dos minerais caulinita e gibsitita, os quais tem baixa capacidade de troca de cátions e baixo pH (Demattê e Demattê 1993).

2.1.1. Latossolos

O termo "*Latosol*" é uma derivação dos termos "*laterite*" e "*solum*", que significam tijolo e solo, respectivamente (Cline 1975). Este termo descreve solos com avançado processo de interperização e lixiviação. Os Latossolos correspondem aos Oxisols no sistema Americano e Ferralsols do Sistema da FAO (Ker, 1997).

Os Latossolos representam cerca de 50% do solo brasileiro. Sendo o solo de maior importância para a agricultura (Oliveira 2005). São caracterizados pela predominância do material mineral, horizonte B latossólico logo abaixo do horizonte superficial, com exceção do horizonte hístico. Além disso, apresentam estágio avançado de intemperismo e baixa capacidade de troca de cátions da fração argila (inferior a 17 cmol_c kg⁻¹) (Santos *et al.* 2018). Os Latossolos são constituídos por sete subordens: Latossolo Férrico, Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Amarelo, Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Brunos (Santos *et al.* 2018).

O Latossolo Amarelo é predominante na terra firme amazônica (Santos *et al.* 2018). Eles apresentam baixa fertilidade, acidez elevada e teores de matéria orgânica inferiores a 2% (Ker 1997; Curi *et al.* 2017). Devido a esse fato, a terra firme amazônica precisa de calagens e

adubações para o crescimento e desenvolvimento das culturas de interesse agrícola. A topografia destes solos é plana ou suave ondulada, e são profundos (Curi *et al.* 2017).

Surpreendentemente, entre os Latossolos Amarelos amazônicos de terra firme se encontram pequenas áreas muito férteis: as Terras Pretas de Índio – TPI's. Essas áreas são classificadas como solos de horizonte antrópico. Sua formação teria acontecido durante de milhares de anos, por meio da deposição contínua de matéria orgânica carbonizada no solo (Santos *et al.* 2018; Glaser *et al.* 2001).

Esses solos tem coloração escura, elevados teores de nutrientes e intensa atividade biológica. O estoque de carbono que chega a 15% (Novotny *et al.* 2009). A queima de matéria orgânica sem oxigênio teria produzido o carvão pirogênico ou biocarvão (Falcão *et al.* 2001). Por esta razão, vários estudos tentam replicar o carvão pirogênico encontrado nas TPI's (Glaser *et al.* 2002) como via para aumentar a fertilidade dos Latossolos Amarelos, entre os estudos o do biocarvão.

2.2. Biocarvão

O termo biocarvão é uma adaptação do termo: biochar (do grego “*bios*” – vida e do inglês “*char*” – carvão). É um material rico em carbono, com estruturas orgânicas de alta estabilidade e recalcitrância química. Ele é obtido por queima de resíduos de origem animal ou vegetal em uma fornalha com baixa presença de oxigênio que pode variar entre 300 e 700 °C (Lehmann e Joseph 2009).

No entanto, as propriedades químicas e físicas do biocarvão dependem da matéria-prima, temperatura e tempo de queimada (Antal e Gronli, 2003; Bonelli *et al.* 2010). A matéria-prima afeta a relação C/N, enquanto a temperatura e o tempo de queimada determinam a proporção dos materiais voláteis e não voláteis, grupos carboxílicos e porosidade (Chan e Xu 2009; Zimmerman 2010).

O biocarvão tem como principal função a incorporação de carbono no solo por longos períodos, além de melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas (Martina *et al.* 2015; Figueredo *et al.* 2017; El-Naggar *et al.* 2018). Pode também ser considerado um condicionador físico, químico e biológico do solo (Santos 2013; Miranda *et al.* 2017). Desta forma poderia ser utilizado na recuperação de áreas degradadas e na retenção de nutrientes no solo por mais tempo (Lima *et al.* 2016; Damaceno e Oliveira 2016).

Como condicionador químico é capaz de elevar o pH e a concentração de nutrientes (Silva *et al.* 2016). Isso se deve ao aumento das cargas negativas obtidas pela oxidação de grupos funcionais presentes na superfície do biocarvão que reduzem a competição dos cátions com os íons H⁺ pelos sítios de troca, resultando na redução da lixiviação das bases (Novak *et al.* 2009; Spokas e Reicosky 2009).

Como condicionador físico, o biocarvão proporciona o aumento da porosidade do solo e da areação, e conseqüentemente reduz a densidade do solo (Obia *et al.* 2018), em solos afetados pela seca foi observado o aumento da capacidade de retenção de água quando aplicou-se biocarvão (Liang *et al.* 2014).

Como condicionador biológico o biocarvão aumenta a fixação biológica de nitrogênio e a frequência de fungos micorrízicos que são responsáveis pela assimilação dos nutrientes (Lehmann *et al.* 2011). Além disso, o biocarvão tem potencial de preservar (sequestrar) o carbono no solo (Matovic 2011), adsorver e imobilizar poluentes orgânicos e inorgânicos (Almeida *et al.* 2017), e de reter metais pesados (Li *et al.* 2018).

Dentre as pesquisas que obtiveram resultados favoráveis entre a interação do biocarvão com diferentes tipos de adubos químicos, Lima *et al.* (2016), Mete *et al.* (2015), Coelho *et al.* (2018) e Oliveira (2012) relataram que a houve maior disponibilidade dos nutrientes no solo quando o fertilizante era combinado ao biocarvão, em decorrência disso foi observado diversas mudanças nos atributos químicos do solo como o aumento da disponibilidade de nutrientes, aumento do pH, e conseqüentemente ocorreram aumentos no rendimento da produção e de biomassa.

2.3. Fósforo

O fósforo (P) é um macronutriente aniônico muito importante para o desenvolvimento das plantas, pois é um dos componentes dos ácidos nucleicos, nucleotídeos, coenzimas, fosfato e outros. Além disso, esse elemento atua na síntese e armazenamento de energia, na respiração, no metabolismo dos açúcares, na divisão celular e no alargamento das células. No entanto, no geral, ele está em falta nos solos brasileiros, inclusive nos Latossolos amazônicos (Malavolta 2006).

Portanto, o Brasil precisa incorporar este nutriente no solo. Usualmente são utilizados os fosfatos que são produzidos, principalmente, na China, Estados Unidos e Marrocos. O Brasil

é o sexto maior produtor, com 337 milhões de toneladas em reservas de minério. Sendo os principais produtores os estados de Minas Gerais, Goiás e São Paulo (IBRAM 2010).

O P é um elemento crucial no metabolismo das plantas, pois atua na transferência de energia da célula, na respiração que ocorre no processo da fotossíntese. A limitação do fósforo no início do ciclo vegetativo pode resultar em limitações no desenvolvimento, não havendo recuperação do vegetal mesmo que ocorra o aumento do suprimento de P em outros estágios. Desta forma, a suplementação adequada de P nos estágios iniciais das plantas é essencial para o desenvolvimento saudável (Grant *et al.* 2001).

2.3.1. Fósforo em solos tropicais

O P nos solos pode ser encontrado na forma inorgânica e orgânica e juntas compõem diferentes proporções para o P disponível. O fósforo inorgânico consiste de apatita, complexos de ferro, fosfatos de alumínio e fósforo adsorvido nas partículas de argila (Gatiboni *et al.* 2013). Já o fósforo orgânico é oriundo de resíduos vegetais, de produtos em decomposição e do tecido microbiano (Busato 2004). Para Novais e Smity (1999) os solos com florestas e que não foram cultivados apresentam o fósforo orgânico como o mais importante para os seus processos, pois esses locais possuem a matéria orgânica mais preservada. Já o fósforo inorgânico é considerado o mais importante para solos agrícolas, pois os teores de matéria orgânica são baixos.

Nos solos tropicais há baixa disponibilidade de fósforo porque ele ocorre principalmente na forma de $H_2PO_4^-$. Este complexo é de alta estabilidade e de baixa solubilidade (Sousa *et al.* 2004; Resende e Furtini Neto 2007). Para Novais *et al.* (2007), cerca de 90% do P aplicado no solo é adsorvido e transformado, primeiramente, em P lábil (disponível para plantas) e, posteriormente, em P não-lábil (fixado no solo). Por isso se faz necessário a aplicação de grandes doses de P para tornar o uso dessas áreas agronomicamente viáveis.

2.3.2. Fontes de fósforo

Os adubos fosfatados são obtidos a partir de rochas fosfatas de origem vulcânica (apatitas) e sedimentar (fosforitas), por ser um recurso natural finito é necessário que seja obtido à máxima eficiência no uso deste nutriente (Novais e Smyth 1999).

Para Souza *et al.* (2004), existem cinco classes de fertilizantes fosfatados: i) de alta solubilidade em água, ii) insolúveis em água, iii) com média solubilidade, iv) insolúveis em água com alta solubilidade, e v) insolúveis em água com média solubilidade.

1) Fosfatos com alta solubilidade em água

No Brasil, as fontes industrializadas solúveis em água são as mais utilizadas na agricultura, correspondendo a 95% do fósforo utilizado no país, essas fontes são eficientes em quaisquer condições de solo e cultura (Sousa *et al.* 2010). As principais são o superfosfato simples (18% de P_2O_5) obtido através do tratamento de rochas fosfáticas com ácido sulfúrico, o superfosfato triplo (43% de P_2O_5) produzido a partir do tratamento de rocha fosfáticas com ácido fosfórico. O MAP (Fosfato Monoamônico) e o DAP (Fosfato Diamônico) contendo 48% de P_2O_5 são produzidos a partir da amoniação de ácido fosfórico (Novais e Smyth 1999; Lana *et al.* 2004; Prochnow *et al.* 2010)

2) Fosfatos insolúveis em água

Esse grupo corresponde aos fosfatos naturais brasileiros (Araxá, Patos de Minas, Catalão e outros), é pouco eficiente devido à baixa dissolução no solo (Novais e Smyth 1999).

3) Fosfatos com média solubilidade

Esses fosfatos são parcialmente acidulados com ácido sulfúrico a partir de concentrados fosfáticos nacionais. A eficiência agrônômica desses fosfatos varia de acordo com a fração solúvel presente na composição (Sousa *et al.* 2004).

4) Fosfatos insolúveis em água e com alta solubilidade

Os produtos à base de fosfato e os termofosfatos (termofosfato magnésiano, *termofosfato* potássico e *termofosfato* grosso) fazem parte desse grupo, quando moídos são tão eficientes quanto os fosfatos solúveis em água (Novais e Smyth 1999).

5) Fosfatos insolúveis em água e com média solubilidade

Esse grupo corresponde aos fosfatos naturais que são originários de rochas sedimentares de alta atividade (Carolina do Norte, Arad, Gafsa, Marrocos e outros). São considerados como fonte alternativa para a diminuição da deficiência de P nos solos, a solubilização desse material no solo ocorre lentamente e o aumento da disponibilidade de P para as plantas com o transcorrer

do tempo (Kaminski e Peruzo 1997). Em geral, é um fosfato com menor eficiência em curto prazo, porém apresenta maior efeito residual que os fosfatos solúveis (Novais e Smyth 1999).

Para Nakayama *et al.* (1998), os fosfatos naturais apresentam melhores resultados em solos ácidos, isso se deve a composição dos fosfatos naturais que apresentam fluorapatita e quando encontram-se em meio ácido formam fosfato monocálcico e outros compostos solúveis, em contrapartida a aplicação do fósforo solúvel em solos ácidos forma compostos estáveis como o fosfato de ferro e fosfato de alumínio sendo estes indisponíveis para as plantas.

2.4. A cultura do café

O cafeeiro (*Coffea* sp.) é uma planta originária da África Central, especificamente, das regiões altas da Etiópia onde sua ocorrência se dá de forma espontânea. No século XV suas sementes foram levadas para a Arábia e, posteriormente, para Ásia, Europa e para quase todo o mundo (Ferrão *et al.* 2004). No Brasil, a planta que foi introduzida durante o período colonial (1727 a 1807), apresentava alto valor comercial devido ao alto consumo da bebida. O potencial econômico e as condições edáficas foram fatores que determinaram o estabelecimento e a expansão da cultura no país (Rufino, 2006).

Apesar do grande número de espécies descritas no gênero *Coffea*, apenas duas espécies são cultivadas comercialmente: *Coffea arábica* (café robusta) e *Coffea canephora* (café conilon) (Davis *et al.* 2011). O Brasil é o líder mundial na produção de café, em 2021 produziu 47,7 milhões de sacas beneficiadas, sendo 31,4 milhões de café arábica e 16,3 milhões de conilon (CONAB 2021). Para regiões de clima quente e úmido como a região Amazônica, *C. canephora* é o mais recomendado (Charrier e Berthaud 1985).

O café conilon é a segunda espécie mais cultivada no mundo, com uma produção que representa cerca de 35% de todo o café. Em 2021, a safra brasileira teve como principais produtores os estados do Espírito Santo, com 14.166.000 sacas de 60kg, Bahia com 3.469.000 sacas e Rondônia com 2.263.100 sacas. No estado do Amazonas foram produzidas 75.000 sacas (CONAB 2021).

Na safra 2021, o estado do Amazonas encontrou-se na última posição no ranking nacional de produtores de café conilon, mas quando comparado aos estados da região norte foi o segundo maior produtor, ficando atrás apenas de Rondônia (CONAB 2021). Através da parceria entre o Instituto de Desenvolvimento do Amazonas – IDAM, a Embrapa Amazônia Ocidental e outras instituições vem incentivando o desenvolvimento da cultura no estado tendo como objetivo produzir 360 mil sacas até 2022. A produção de café conilon no estado do

Amazonas faz parte dos Projetos Prioritários planejados para o período de 2019 a 2022, que contempla os municípios de Apuí, Barreirinha, Envira, Lábrea, Itacoatiara e Silves IDAM 2019)

2.4.1. Características do café conilon “BRS Ouro Preto”

A cultivar Conilon ‘BRS Ouro Preto’ foi desenvolvida pela Embrapa Rondônia para promover a estabilidade produtiva do café na região Amazônica. Esse material foi obtido através da propagação vegetativa (estaquia), sendo composta por um grupo de 15 genótipos (Ramalho *et al.* 2014).

As características agrônômicas desse material são o elevado potencial de produtividade média de grãos em condições de sequeiro, alta uniformidade na maturação dos frutos predominância de grãos de tamanho médio do tipo ‘chato’ (peneira média 15,4 mm). Nas lavouras comerciais tecnificadas, a sua produtividade dos grãos pode chegar a 70 sacas de 60 kg ha⁻¹. Usualmente são plantadas entre 1.666 a 2.222 plantas ha⁻¹, sendo que essa espécie apresenta tolerância a doenças e ao estresse abiótico (Ramalho *et al.* 2011).

2.4.2. Influência do fósforo no café

Para Novais e Smith (1999), os níveis críticos de P no solo variam de acordo com a espécie cultivada. As plantas perenes, especificamente, possuem um sistema de acúmulo de reserva de P mais evoluído, isso se deve aos maiores e mais prolongados déficits hídricos sofridos pela planta (Novais e Melo, 2007).

O P é pouco exigido na cultura do café e também é pouco exportado quando comparado aos outros macronutrientes (Guimarães *et al.*, 2011). No entanto, para Malavolta (2006) quando aplicado quantidades adequadas é possível aumentar a resistência da planta de café às variações de temperatura e também auxilia no desenvolvimento radicular, no florescimento, na maturação, na formação das sementes e, conseqüentemente na produtividade. Corroborando com essas informações Santinato *et al.* (2014) e Silva *et al.* (2020) observaram resultados positivos da adubação fosfatada no crescimento de mudas de café, em que ocorreu a elevação do teor de macro e micronutrientes nas folhas, e também nos parâmetros biométricos como a altura, diâmetro do caule e na produção de biomassa.

A adubação fosfatada nos plantios de café é feita dentro cova/sulco tendo em vista atender a demanda das plantas através das raízes subsuperficiais e potencializar seu

aproveitamento, pois o P apresenta extrema dificuldade em se movimentar no solo (Chaves 2002).

Na região Amazônica, o fósforo é um dos principais limitantes para a produção vegetal. Para Falcão e Silva (2004), o teor de fósforo total desses solos varia entre 200 e 3000 mg kg⁻¹, porém, o teor de fósforo disponível para as plantas varia de 0,002 a 2 mg kg⁻¹. Isto ocorre porque os solos amazônicos tem alta capacidade de adsorção de fósforo pelos óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro. Por conta da alta adsorção do fósforo, antes de ser feita a adubação fosfatada deve-se considerar o volume do solo a ser adubado e a reatividade do fertilizante (Novais e Smyth 1999; Marcolan e Espíndula 2015).

Considerando plantios em solos com baixos teores de P, elevada capacidade de adsorção e com a 3333 plantas ha⁻¹, Prezotti *et al.* (2007) recomendam 134 kg ha⁻¹ de P₂O₅, para a adubação de formação, no estado do Espírito Santo. Considerando a mesma densidade de plantas, Marcolan *et al.* (2009) recomendam para o estado de Rondônia 134 kg/ha⁻¹ de P₂O₅. Para Cravo *et al.* (2007), no estado do Pará deve ser utilizado 200 kg/ha⁻¹ de P₂O₅.

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Determinar a influência do biocarvão e fosforo na fertilidade do solo, na nutrição e no crescimento vegetativo de café conilon.

3.2. Específicos

Avaliar o efeito do biocarvão e das fontes de fósforo nas propriedades químicas do solo, na biomassa e no crescimento das mudas utilizando dois genótipos de café conilon.

Determinar o efeito do biocarvão x P e biocarvão x genótipo nas características químicas do solo e no crescimento das plantas.

Determinar o efeito das características químicas do solo no crescimento das mudas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local

O experimento foi conduzido de abril a setembro de 2019, em uma casa de vegetação localizada no Campus III, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), (3°5'29" S e 59°59'37" W), Manaus – AM (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen o clima de Manaus é classificado em Af (Tropical úmido) com temperatura média anual de 27,4 °C (Alvares *et al.* 2013).

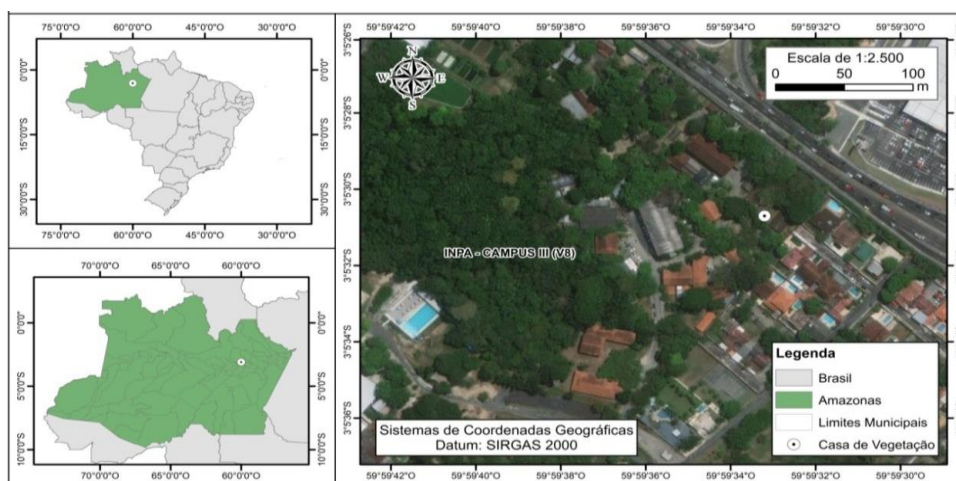


Figura 1. Localização da área de estudo.

4.2. Solo

O experimento foi conduzido em vasos de 5L preenchidos com solo, sendo este coletado da camada de 0 a 20 cm de profundidade de uma área de capoeira, com aproximadamente 30 anos de idade, na Estação Experimental de Fruticultura Tropical, do INPA, a Km 45 de Manaus. O solo da área foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico (Santos *et al.* 2018). As características físicas e químicas desse solo são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Propriedades químicas e físicas do Latossolo Amarelo distrófico coletado da Estação Experimental de Fruticultura Tropical/INPA a 45 km de Manaus. 2019.

pH	K	Ca	Mg	Al	P	Fe	Zn	Mn
-- H ₂ O --	----- cmol _c dm ⁻³ -----				----- mg dm ⁻³ -----			
3,57	0,1	0,73	0,25	0,70	3,95	255,34	2,59	3,5
H+Al	T	T	v	m	Argila	Silte	Areia	
----- cmol _c dm ⁻³ -----	-----		----- %-----	----- g dm ⁻³ -----				
5,57	2,64	1,78	39,3	16,2	418	432	150	

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

4.3. Biocarvão

O biocarvão foi obtido da termoelétrica 'BK Energia', a qual está localizada no município de Itacoatiara - AM a 270 Km de Manaus. Amostras desse biocarvão foram caracterizados quimicamente (Tabela 2).

Tabela 2. Propriedades químicas do biocarvão da Termoelétrica BK Energia. Itacoatiara-AM. 2019.

pH H ₂ O	N	P	K	Ca	Mg	S
8,8	0,12	0,6	0,11	26,8	7,0	1,4
	Fe	Zn	Mn	Cu	B	
	8521,5	13,4	250,0	9,0	41,0	

4.4. Material vegetal

Mudas de dois genótipos de café conilon foram adquiridas na Associação Solidariedade Amazonas (ASA), localizada no município de Silves - AM (2°50'07" S e 58°13'03" W). Os genótipos foram os clones BRS Ouro Preto C-120 e C-199. Essas mudas tinham quatro meses, com altura média de 20 cm, diâmetro de coleto de 3,0 mm, quatro folhas completamente expandidas e um ramo ortotrópico. Para o experimento se selecionaram apenas aquelas que não tinham doenças, que eram mais vigorosas e que eram de tamanho semelhante.

4.5. Tratamentos e delineamento experimental

Tabela 3. Composição dos tratamentos utilizados num vaso com 5 kg de Latossolo Amarelo distrófico.

Tratamentos	Composição						
	Biocarvão (BC)		Fósforo				
	t ha ⁻¹	g vaso ⁻¹	kg ha ⁻¹ Fonte de P	kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅	g/vaso Fonte de P	g/vaso P ₂ O ₅	
T1	40 BC x C-120 x SFS	40	50	1388,9	250	3,47	0,62
T2	40 BC x C-120 x SFT	40	50	543,5	250	1,52	0,62
T3	40 BC x C-120 x Sem P	40	50	0,0	0,0	0,0	0,0
T4	0 BC x C-120 x SFS	0	0	1388,9	250	3,47	0,62
T5	0 BC x C-120 x SFT	0	0	543,5	250	1,52	0,62
T6	0 BC x C-120 x Sem P	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
T7	40 BC x C-199 x SFS	40	50	1388,9	250	3,47	0,62
T8	40 BC x C-199 x SFT	40	50	543,5	250	1,52	0,62
T9	40 BC x C-199 x Sem P	40	50	0,0	0,0	0,0	0,0
T10	0 BC x C-199 x SFS	0	0	1388,9	250	3,47	0,62
T11	0 BC x C-199 x SFT	0	0	543,5	250	1,52	0,62
T12	0 BC x C-199 x Sem P	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0

Legenda: BC= biocarvão, SFS= Superfosfato Simples, SFT= Superfosfato Triplo, C-120= Clone BRS Ouro Preto 120 e C-199=Clone BRS Ouro Preto 199.

O experimento foi conduzido em ensaio fatorial (2x2x3) sendo o fator A: dois clones BRS (C-120 e C-199); fator B: biocarvão (0 e 20 t ha⁻¹) e o fator C: duas fontes de fósforo (superfosfato simples-SFS; superfosfato triplo-SFT), aplicadas numa quantidade equivalente a 250 kg de P₂O₅ ha⁻¹, e mais um tratamento controle sem P. O delineamento adotado foi inteiramente casualizado (DIC), com doze tratamentos e oito repetições.

4.6. Instalação e condução

Os vasos foram preenchidos com Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) peneirada em malha de 4 mm e, posteriormente, homogeneizada com o biocarvão e P de acordo ao esquema fatorial.



Figura 2. Solo seco ao ar sendo peneirado em malha de 4,0 mm com 50g de biocarvão.

Posteriormente, as mudas foram repicadas para os vasos. Em todas as unidades amostrais foram aplicados nitrogênio (ureia) e potássio (KCl), sendo as aplicações realizadas aos 30 e 60 dias após o transplante das mudas. A fertilização com micronutrientes (FTE BR12) foi aos 60 dias após o transplante. A quantidade aplicada por nutriente pode ser observada na tabela 4.

Tabela 4. Concentrações dos fertilizantes aplicados adicionalmente ao solo.

Uréia				KCl				
kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	g/vaso	g/vaso	kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	g/vaso	g/vaso
Uréia	N	Uréia	N	KCl	K ₂ O	K	KCl	K
166,5	75	0,42	0,19	166,5	99,9	82,93	0,42	0,25
FTE BR12 (10 kg ha ⁻¹)								
Elementos	Fe	Zn	Mn	Cu	B	Mo		
Concentração	3,0%	9,0%	2,0%	0,8%	1,8 %	0,1%		
kg ha ⁻¹	0,024	0,072	0,016	0,0064	0,014	0,0001		
g/vaso	0,003	0,009	0,002	0,0008	0,0018	0,00001		
mg/vaso	0,3	0,9	0,2	0,08	0,18	0,01		

45% de N e Cloreto de Potássio 60% de K₂O.

O controle de plantas invasoras foi realizado manualmente. Foi necessário aplicar semanalmente o inseticida Decis 25 EC para o controle do bicho-mineiro (*Leucoptera ceella*), na dose 400 mL/h durante quatro semanas. A irrigação foi realizada manualmente uma vez ao

dia conforme a necessidade da cultura, aplicando em todos os vasos de 0,15 L de água por dia, mantendo a umidade do solo acima de 30%.

4.7. Parâmetros avaliados

O experimento teve duração de seis meses em casa de vegetação, sendo realizadas avaliações biométricas mensais e após a retirada das mudas foram realizadas as análises químicas de tecido vegetal e dos atributos químicos do solo.

4.7.1. Avaliações biométricas das plantas

As avaliações biométricas foram realizadas aos 0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o transplante. Durante esse período, foram avaliadas o número de folhas expandidas, a altura das mudas (do colo até a gema apical) e o diâmetro do caule (a 3,0 cm do nível do solo) utilizando um parquímetro digital STARRET® (0 - 150 mm).



Figura 3. Avaliação da altura (A) e do diâmetro (B) em mudas com folhas expandidas.

A partir dos resultados mensais, calculou-se o ganho foliar (GF) (Equação 1), ganho absoluto em altura e diâmetro (GAA e GAD) (Equação 2), taxa de crescimento absoluto em altura e diâmetro (TCAA e TCAD) (equação 3), conforme metodologia de Bugbee (1996) e Davanso *et al.* (2002).

Equação 1

$$GF = NF_f - NF_0$$

GF - ganho foliar;

NF_f - número de folhas final;

NF₀ - número de folhas inicial

Equação 2

$$\text{GAA ou GAD} = V_f - V_0$$

GAA ou GAD – Ganho absoluto em altura [cm] ou em diâmetro [mm];

V_f - valor final;

V_0 – valor inicial

Equação 3

$$\text{TCAA ou TCAD} = (V_f - V_0) / (T_f - T_0)$$

TCAA ou TCAD - taxa de crescimento absoluto em altura [cm] ou em diâmetro [mm];

V_f - variável final;

V_0 - variável inicial;

T_f - tempo final de monitoramento (em meses).

T_0 - tempo inicial do monitoramento (em meses).

4.7.2. Avaliação da biomassa

No nono mês, as raízes e a parte aérea das plantas foram secadas separadamente em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C por 48 horas. Posteriormente, as matérias secas foram pesadas. Sendo a matéria seca total (MST) obtida a partir da soma da matéria seca das raízes (MSR) e matéria seca da parte aérea (MSPA).

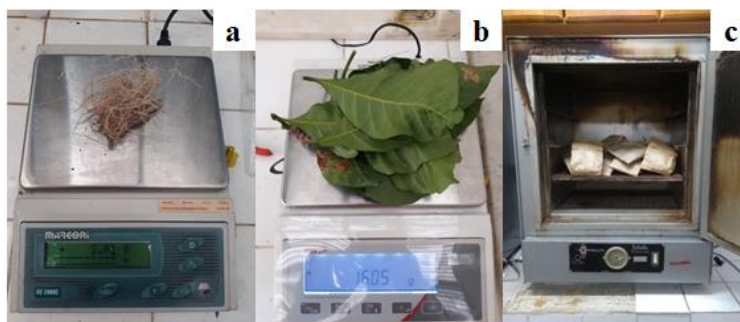


Figura 4. Pesagem das raízes (A) e folhas frescas (B) antes secadas em estufa a 60°C por 48 horas (C).

4.7.3. Análise química de tecido vegetal

As folhas que apresentavam aspectos fitossanitarios saudáveis foram selecionadas para análise, sendo secadas e trituradas. Em seguida foi pesado 0,25 g das folhas trituradas para realizar a digestão nitro-perclórica em temperatura crescente de 50 °C por 30 minutos até alcançar 210 °C. Desse extrato foi realizada a determinação do P através da espectrofotometria a 725 nm e para o K a determinação foi feita através da espectrofotometria de absorção atômica

(Embrapa 1999). Para a determinação a concentração de N, pesou-se 0,1g do material triturado, submetendo-o a pré-digestão durante 12 horas, posteriormente esse material foi submetido a digestão sulfúrica ($H_2O_2 + H_2SO_4$) em temperatura gradativa até alcançar 350 °C. Posteriormente, determinou-se o N utilizando a metodologia de Kjeldahl, a partir de uma alíquota de 25 mL do extrato puro (Miyszawa *et al* 1999).

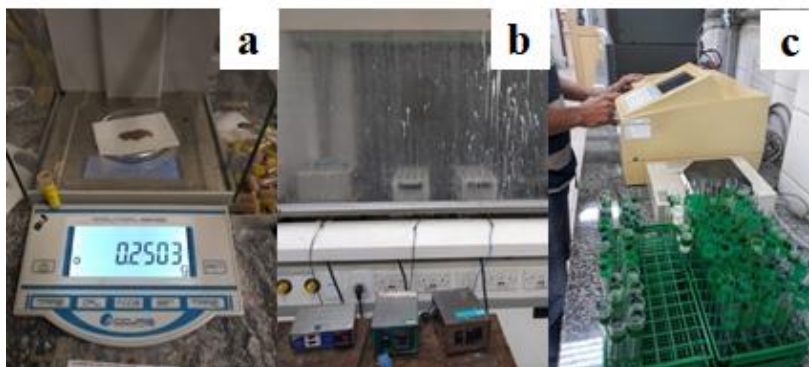


Figura 5. Método utilizado para a determinação do teor de P. Pesagem das amostras secas e trituradas de folhas de café conilon (A). Material sendo submetido a digestão nitro-perclórica (B). Determinação do P por espectrofotometria (C).

4.7.4. Análise dos atributos químicos do solo

Após a retirada das mudas, foram coletadas de cada unidade experimental cinco amostras simples (sub-amostras) para compor uma amostra composta de aproximadamente 500 g (Malavolta 1992). Posteriormente, as amostras foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2,0 mm. Foram determinados o pH, a acidez potencial ($H^+ Al^{3+}$), alumínio trocável (Al^{3+}) e macronutrientes (P, K, Ca e Mg).

O pH foi determinado por meio de eletrodo imerso em suspensão da solução na relação solo: água (1:2,5). A acidez potencial ($H + Al^{3+}$) foi extraída através do acetato de cálcio ($C_2H_3O_2Ca$) à 20,5 M e determinada por titulometria com hidróxido de sódio NaOH 0,025 M. O alumínio trocável (Al^{3+}), o Ca e o Mg foram extraídos através da solução de cloreto de potássio; (KCl) 1 M, sendo o Al^{3+} determinado por titulometria com NaOH, o Ca e Mg determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

P foram extraídos com solução Mehlich 1 (HCl 0,05 M + H_2SO_4 0,0125 M), determinando-se o P pelo método azul de molibdato e por espectrofotometria ($\lambda=660$ nm) e o K por espectrofotometria de absorção atômica (Embrapa, 1999). O N total foi determinado pelo método de Kjeldahl (Embrapa, 1999) (Figura 4).

A partir dos dados obtidos nas análises de solo foram calculados a soma de bases (SB) (Equação 4), a capacidade de cátions efetiva (t) (Equação 5) e a saturação por bases (v%).

Equação 4

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

Sendo:

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

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

Equação 5

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

Sendo:

t = CTC efetiva

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

Al^{3+} - Alumínio trocável ($cmol_c dm^{-3}$); (H^+Al^{3+})

Equação 6

$$v\% = (SB/t) \cdot 100$$

Sendo:

v% - Saturação por bases

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

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

4.8. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de médias de Duncan com nível de significância de 5%. O programa estatístico utilizado foi o SAS 9.1.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC) procedimento PROC GLM.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Desenvolvimento das plantas

Neste trabalho não foi observada interação significativa BC x P x Genótipo para todas as características morfológicas do café conilon. Indicando que a avaliação do efeito de cada fator deve ser feita isoladamente (Anexo 1).

O ganho de foliar (GF) em cinco meses apresentou diferença significativa apenas para o fator P. O teste de médias mostrou que o SFS teve o maior GF (54%) seguido do SFT (33%) durante os cinco meses (Tabela 5). Monteiro *et al.* (2018), identificaram que a ausência do fósforo nas mudas de café arábica reduz a produção de folhas. Fato com o qual concordam os resultados.

O crescimento das plantas está diretamente ligado a produção e distribuição de fotoassimilados nos diversos órgãos dreno (Goldschmidt e Huber 1992). Nas fases iniciais do vegetal ocorre um balanço positivo dos fotoassimilados, em que as folhas fotossinteticamente ativas são as fontes e parte dos fotoassimilados são usados pelas próprias folhas para manutenção da atividade fisiológica (Peluzio *et al.* 1999). As folhas têm como função de fornecer fotoassimilados para suportar os drenos (inflorescência, frutos, ápice caulinar e sistema radicular) (Wien 1997).

O ganho de altura (GAA), o crescimento absoluto do diâmetro do coleto (GAD), a taxa de crescimento absoluto em altura (TCAA) e a taxa de crescimento absoluto em diâmetro (TCAD) apresentaram diferença significativa para os fatores P e genótipo (Tabela 5).

O teste de médias mostrou que o SFS teve o maior GAA (65%) que o SFT (32%). Esse aumento pode ser explicado pelo aumento do GF, a qual produz mais fotoassimilados. O genótipo também influenciou o GAA. O genótipo BRS Ouro Preto clone 120 (C-120) teve um ganho de altura de 38% sobre o clone 199 (C-199). Esse aumento demonstra que ele é melhor adaptado às condições de casa de vegetação em Manaus. Para Fernandes e Muraoka (2002), C-120 estaria mais adaptado a solos com baixa fertilidade, isso ocorre porque existe variabilidade genética entre esses clones apesar de serem da mesma espécie. Nas pesquisas de Martins *et al.* (2013) e Silva *et al.* (2019), foi observado que o crescimento vegetativo de mudas clonais de café conilon e de eucalipto, respectivamente, apresentavam comportamento diferenciado sob as mesmas condições de fertilidade do solo.

O GAD foi maior para o SFS (60%) que para o SFT (41%) (Tabela 5). Assim também, C-120 se mostrou novamente o mais adaptado as condições edafoclimáticas de Manaus, tendo 12% de GAD a mais que C-199.

Tabela 5. Médias do ganho foliar (GF), ganho absoluto em altura (GAA), ganho absoluto em diâmetro (GAD), taxa de crescimento absoluto em altura (TCAA), taxa de crescimento absoluto em diâmetro (TCAD), matéria seca das raízes (MSR), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST).

Fatores	Níveis do fator	GF un.	GAA cm	GAD mm	TCAA cm/mês	TCAD mm/mês	-----g-----		
							MSR	MSPA	MST
Biocarvão	0 t ha	4,81 a	4,24 a	0,67 a	0,73 a	0,11 a	1,17 a	4,86 a	6,19 a
	40 t ha	5,27 a	4,37 a	0,58 a	0,71 a	0,10 a	1,10 a	5,03 a	5,96 a
Fontes de P	SFS	6,03 a	5,37 a	0,75 a	0,90 a	0,13 a	1,25 a	5,44 a	6,69 a
	SFT	5,19 ab	4,29 ab	0,66 a	0,71 ab	0,11 a	1,25 a	5,04 a	6,29 a
	Sem P	3,91 b	3,26 b	0,47 b	0,54 b	0,08 b	0,91 b	4,35 b	5,26 b
Genótipo	C-199	4,52 a	3,62 b	0,57 b	0,60 b	0,10 b	1,08 a	4,92 a	6,00a
	C-120	5,56 a	4,99 a	0,68 a	0,83 a	0,12 a	1,18 a	4,97 a	6,15 a
CV (%)		52,43	53,86	39,31	53,86	39,23	40,14	27,08	28,45

¹médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si.

A TCAA mostra a taxa de crescimento em altura do caule por mês. Observou-se que o tratamento com SFS teve a maior taxa (66%) que o tratamento com SFT (31%). Por sua parte, o genótipo que apresentou a maior TCAA foi o clone C-120 (12%). Ramalho *et al.* (2014), afirmam que os clones C-120 e C-199 são altamente produtivos e também são exigentes quanto as condições ambientais como a adubação química. Portanto, nas condições testadas se observa que C-120 tem melhor desenvolvimento.

A TCAD indica a taxa de crescimento do diâmetro do caule por dia. Por esta característica, observou-se que o uso de SFS teve as maiores taxas (63%) que o SFT (37%) (Tabela 5). Em relação ao efeito do genótipo, observou-se que o clone C-120 teve a maior taxa, demonstrando assim, o efeito do genótipo no café conilon.

Para as características de matéria seca das raízes (MSR), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST), não foi observado interação entre os fatores estudados, de forma que os fatores foram estudados isoladamente. Apresentando para as três variáveis diferença significativa apenas para o fator P (Tabela 5). Martins *et al.* (2013), já haviam demonstrado que os clones de café conilon reagem de maneiras distintas a adubação fosfatada e dependem da quantidade de P₂O₅ fornecida.

5.2. Teor de nutrientes nas plantas

Para os aspectos nutricionais das mudas de café conilon, não foi observado interação significativa para o Biocarvão x, P x Genótipo, desta forma os fatores foram estudados com interação entre dois fatores e isoladamente. Apresentando interação significativa de P x Genótipo para o teor de P na parte aérea. As demais características foram estudadas isoladamente (Anexo 2).

Para Prezzot *et al* (2007), a faixa ideal de P nas folhas das mudas de cafeeiro deve estar entre 1,2 a 1,6 g kg⁻¹, neste estudo observou-se que apenas os tratamentos controle não estavam dentro dessa faixa (Tabela 6). O teor de P no tecido foliar apresentou maiores taxas quando utilizado o SFS e esse acréscimo foi de 885% para o clone 199 e 641% para o clone 120, quando comparados aos controles, é possível que o enxofre presente no SFS tenha proporcionado este aumento, pois para Malavolta (2006), esse elemento é responsável por processos metabólicos e pela produção de proteínas, e conseqüentemente esses fatores contribuem para o desenvolvimento do vegetal. O mesmo resultado foi observado em trabalhos com a espécie florestal jatobá-do-cerrado por Soares *et al.* (2013) e Alves *et al.* (2015). Quando se verifica o teor de P foliar entre os genótipos, pode ser observado que o clone 199 combinado adubado com SFS apresentou o maior teor de P na sua concentração. Porém, quando se observa os parâmetros morfológicos, o clone 120 é o que apresenta os maiores ganhos morfométricos (Tabela 5), o que indica que esse clone metaboliza mais rápido o nutriente e conseqüentemente, a planta também se desenvolve mais rápido.

Tabela 6. Teores de fósforo (P) na parte aérea de dois genótipos de café conilon sobre a influência do biocarvão e fontes de P.

Fósforo (g/kg ⁻¹)		
G x P	C-120	C-199
SFS	1,63 aB	2,21 aA
SFT	1,38 bA	1,45 bA
Sem P	0,22 cA	0,25 cA
CV (%)	23,12	

¹medias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si.

O comportamento de cada genótipo em um determinado ambiente, pode ser alterado devido as exigências climáticas que podem causar diferenças no ajuste metabólico, o que vem proporcionar uma diferença genética entre os clones, afetando a taxa de crescimento ou

absorção de P e sua retranslocação no interior da planta (Resende *et al.* 2005; Santos *et al.* 2008).

Quando estudado os fatores isolados, o genótipo C-199 apresentou o maior teor de N na ausência do biocarvão e não apresentando diferença entre as fontes de fosfatadas (Tabela 7). É possível que o genótipo C-199 tenha características genéticas que sejam responsáveis pela eficiência da absorção e uso dos nutrientes (Santos *et al.* 2006). O N é nutriente crucial no desenvolvimento da área foliar e na fotossíntese, sendo responsável pela síntese de aminoácidos, enzimas, vitaminas, hormônios, ácidos nucleicos e nucleotídeos. Sua carência provoca deficiência na síntese de clorofila e consequentemente causa clorose das folhas e decréscimo na produtividade (Bragança *et al.* 2008). Além disso, todos os tratamentos observados neste estudo estão dentro da faixa ideal de teor de N, que varia de 29 a 32 g kg⁻¹ (Prezzot *et al.* 2007), estes valores podem estar relacionados a adubação nitrogenada que foi aplicada em todos os tratamentos.

A concentração de N no tratamento em que não houve incremento de biocarvão foi superior ao tratamento que recebeu. Este resultado difere dos estudos realizados por Sousa e Figueiredo (2015) e Silva *et al.* (2017), em que os tratamentos com biocarvão incorporado ao solo proporcionaram o aumento nos teores de N sendo superiores ao tratamento controle. No entanto, para Schulz (2014), quando são aplicadas quantidades baixas de biocarvão é possível que não ocorra efeito significativo devido à baixa disponibilidade de nutrientes do material.

Tabela 7. Teores de Nitrogênio (N) e Potássio (K) na parte aérea de dois genótipos de café conilon sobre a influência do biocarvão e fontes de P.

Fator	Níveis do fator	g kg ⁻¹	
		N	K
Biocarvão	0 t ha ⁻¹	33,41 a	15,64 a
	40 t ha ⁻¹	32,05 b	15,43 a
Fontes de P	SFS	33,17 a	12,73 b
	SFT	32,68 a	22,85 a
	Sem P	32,34 a	11,03 c
Genótipo	C-120	31,86 b	15,57 a
	C-199	33,60 a	15,57 a
CV (%)		9,96	18,57

¹medias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si.

Para o teor de K no tecido foliar foi verificado efeito apenas nas fontes de P, onde observou-se o maior teor deste nutriente quando aplicado o SFT (Tabela 7). Pode ser observado que os tratamentos que receberam a adição de P foram os que tiveram maior incremento da matéria seca radicular (Tabela 5). Esse efeito foi observado por Fageria e Moreira (2011), onde

as plantas que receberam a aplicação de P tiveram maiores incrementos no desenvolvimento radicular e absorveram os nutrientes com maior velocidade. Para Kerbauy (2013), o P atua na formação de raízes e que as novas raízes têm a capacidade de alcançar e absorver os nutrientes antes que ocorra a sua depleção.

A absorção do K ocorre através do processo de difusão que consiste na movimentação do íon em curta distância, onde o K entra em contato com a raiz passando de uma região com maior concentração para um de menor concentração (Taiz e Zeige 1999). Esse nutriente atua no balanço iônico das células vegetais, na ativação enzimática, no controle osmótico, na respiração celular, na síntese de carboidratos e proteínas que são importantes para fotossíntese (Kinpara 2003).

5.3 – Atributos químicos do solo

Para os atributos químicos do solo, foi observado interação significativa entre os três fatores para pH, Al, H+Al, Ca, Mg, N total, SB e v% (Anexo 3).

Tabela 8. Médias do potencial hidrogeniônico (pH), Alumínio trocável (Al), acidez potencial (H+Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), nitrogênio (N), soma das bases (SB) e saturação por bases (v%) sobre a influência das interações entre biocarvão, fontes de fósforo e genótipo.

Variáveis	Fatores	C-120			C-199			CV (%)
		Sem P	SFS	SFT	Sem P	SFS	SFT	
pH (H ₂ O)	BC - 0	3,68 bBa	3,74 bBβ	3,98 aAα	3,82 aAα	3,76 bAβ	3,53 aBβ	3,86
	BC - 40	3,91 aAα	4,09 aAα	4,08 aAα	3,95 aABα	4,19 aAα	3,61 aBβ	
Al (cmol _c dm ⁻³)	BC - 0	0,87 bBa	0,83 bBβ	0,59 aAα	0,99 aBβ	0,80 bAα	0,79 aAα	21,14
	BC - 40	0,67 aAα	0,58 aAα	0,51 aAα	0,98 aBβ	0,45 aAβ	0,64 aAα	
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	BC - 0	5,71 bAα	5,93 aAβ	5,18 aAα	5,67 bAα	6,13 bBβ	6,23 aBβ	9,53
	BC - 40	4,95 aAα	5,52 aBα	5,09 bAα	5,14 aAα	5,17 aAα	6,12 aBβ	
Ca (cmol _c dm ⁻³)	BC - 0	0,96 aCα	1,10 bBα	1,25 aAα	0,76 bBα	1,30 bAα	0,74 bBβ	23,53
	BC - 40	1,06 aBβ	1,61 aAα	1,39 aAα	1,29 aBα	1,94 aAα	1,36 aBα	
Mg (cmol _c dm ⁻³)	BC - 0	0,47 bBa	0,28 bCα	0,60 aAα	0,26 bBβ	0,28 bBβ	0,45 bAα	25,13
	BC - 40	0,59 aAα	0,52 aAα	0,53 aAβ	0,38 aBβ	0,56 aAα	0,68 aAα	
N total (g/kg ⁻¹)	BC - 0	0,77 bBβ	0,86 bAα	0,84 aAα	0,83 bAα	0,87 aAα	0,88 aAα	6,66
	BC - 40	0,90 aAα	0,92 aAα	0,89 aAα	0,92 aAα	0,89 aAα	0,89 aAα	
SB (cmol _c dm ⁻³)	BC - 0	1,65 aAα	1,56 bAα	2,05 aAα	1,17 aBβ	1,77 bAα	1,42 bAβ	13,08
	BC - 40	1,89 aAα	2,33 aAα	2,35 aAα	1,90 aBα	2,70 aAα	2,27 aAα	
t (cmol _c dm ⁻³)	BC - 0	2,52 aAα	2,38 bAα	2,64 aAα	2,17 bBα	2,57 bAα	2,20 bBβ	16,94
	BC - 40	2,55 aAα	2,91 aAα	2,87 aAα	2,91 aAα	3,15 aAα	2,90 aAα	
V (%)	BC - 0	24,9 bBa	23,3 bBα	30,9 aAα	18,4 bBβ	25,0 bAα	22,5 bAβ	8,52
	BC - 40	30,2 aAα	31,9 aAα	31,0 aAα	27,0 aBα	36,4 aAα	33,0 aAα	

¹médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, maiúscula na linha e letra grega entre genótipos não diferem estatisticamente entre si. ² Biocarvão 0 t ha⁻¹ (BC – 0) e Biocarvão 40 t ha⁻¹ (BC – 40).

O pH é um fator crucial para a fertilidade do solo, através dele é medido a acidez ativa que é representada pelos íons H^+ na solução do solo. Além disso, é considerado um indicador de fertilidade, pois quando alterado afeta diretamente a disponibilidade do alumínio, macros e micronutrientes (Prezotti e Guarçoni 2013). Para Malavolta (1993), o pH ideal para a cafeicultura no período produtivo deve estar na faixa entre 5,5 a 6,5. Resultado semelhante foi encontrado no estudo de Balbino (2016), com mudas clonais de café conilon, em que os tratamentos que tiveram o melhor desempenho foram os que se encontravam no intervalo de 5,65 a 6,3. Isso ocorre porque a elevação do pH proporciona o aumento dos teores de nutrientes essenciais para as plantas e também dos atributos do solo (SB, CTC e V%), e reduz a saturação de Al que pode ser considerada tóxica para as plantas (Abreu Junior *et al.* 2003).

Diferente do recomendado para a cafeicultura, o pH do solo deste estudo variou entre 3,53 e 4,19 com e sem a aplicação do biocarvão (Tabela 8). Sem a aplicação do biocarvão a maior média encontrada foi igual a 3,98, no entanto, as maiores médias foram observadas nos tratamentos com biocarvão chegando a 4,19. O aumento do pH já era esperado, pois o biocarvão tem em sua composição grupos funcionais carregados negativamente ($-COO^-$ e $-O^-$) que se associam aos íons H^+ e formam precipitados solúveis (Fidel *et al.* 2017). Esse aumento do pH causado pela incorporação do biocarvão no solo corrobora o estudo de Woiciechowsk *et al.* (2018), em que a aplicação do biocarvão ($40 t ha^{-1}$) elevou o pH do solo de 3,8 para 4,4. Para Martinsen (2015), a dose de biocarvão ($30 t ha^{-1}$) foi capaz de elevar o pH de 4,7 para 5,2.

A aplicação do biocarvão no solo também alterou o teor de alumínio trocável (Al^{3+}), havendo redução de até 45% (Tabela 8). Este atributo químico do solo quando encontrado em altos teores é considerado um fator limitante para o crescimento vegetal, pois causa a redução do crescimento radicular que, conseqüentemente, interfere na absorção, translocação e uso de nutrientes como o fósforo, cálcio e magnésio (Malavolta 2006). Outro efeito dos altos teores alumínio é formação de fosfatos insolúveis que são indisponíveis para os vegetais, sendo necessário a correção, por meio da calagem (Deluca *et al.* 2009). Para Woiciechowsk, os grupos funcionais do biocarvão se associaram aos íons H^+ e isso, conseqüentemente, eleva o pH, pois favorece a formação de precipitados de $Al(OH)_3$, forma insolúvel e não tóxica para as plantas.

Para o teor de cálcio no solo, os tratamentos que combinavam o SFS e o biocarvão chegaram a ser aproximadamente 250% maior que o controle. Esse incremento pode estar relacionado ao conteúdo de cálcio presente nos fertilizantes fosfatados, onde o superfosfato triplo e o superfosfato simples têm em sua composição, 10 e 18% de Ca, respectivamente

(Novais e Smyth 1999). O mesmo efeito foi observado no trabalho de Ros *et al.* (2019), em que superfosfato simples elevou o teor de Ca no solo em 50%, quando aplicou-se a dose 200 t ha⁻¹. Já os tratamentos que houve apenas a aplicação do biocarvão foram superiores em cerca de 60% quando comparado ao tratamento controle. Woiciechowski *et al.* (2018), ao aplicar apenas biocarvão observaram resultados semelhantes em que a aplicação da dose 40 t ha⁻¹ de biocarvão apresentou ganho de 60% em relação ao tratamento controle, esse incremento ocorreu devido aos óxidos de cálcio que compõem as cinzas do biocarvão. É importante ressaltar que apenas os tratamentos que combinavam SFS e biocarvão estavam na faixa adequada para produção agrícola, sendo representada por valores acima de 1,6 cmol_c dm⁻³.

O teor de magnésio no solo quando aplicado biocarvão foi superior ao 160% quando comparado ao tratamento controle (Tabela 8). Para Woiciechowski *et al.* (2018), esse aumento estar relacionado aos cátions presentes nas cinzas do biocarvão, sendo estas compostas por óxidos (MgO, CaO, K₂O) que se dissociam e ficam disponíveis para as plantas de forma imediata (Sanchez *et al.* 1983). Resultados semelhantes foram observados no estudo de El-Neggar *et al.* (2018), em que a aplicação do biocarvão proporcionou a elevação do teor de magnésio em 525%.

De acordo com as classes de interpretação de Brasil *et al.* (2020), os tratamentos em que houve a incorporação do biocarvão estão na faixa ideal para produção agrícola que varia entre 0,5 e 1,5 cmol_c dm⁻³. No entanto, a maioria dos tratamentos que não tiveram a aplicação do biocarvão estavam na faixa de baixa disponibilidade de Mg (abaixo de 0,5 cmol_c dm⁻³).

O teor de nitrogênio teve aumento de até 14,4% nos tratamentos que receberam a aplicação de biocarvão (Tabela 8). No entanto, a disponibilidade desse nutriente se deu principalmente pela adubação nitrogenada, em seguida pela aplicação de biocarvão e pelas reservas do solo, sendo observado os maiores teores de nitrogênio nos tratamentos com biocarvão. Para Spokas *et al.* (2012), esse incremento foi proporcionado pelo biocarvão que tem a capacidade de reter nitrogênio através da sua natureza porosa e de sua grande área superficial que consequentemente aumentou a disponibilidade de N no solo e reduziu as suas perdas por lixiviação. Nos estudos de Guimarães *et al.* (2017) e Cui *et al.* (2017) foi observado o incremento no N total após a aplicação do biocarvão.

Consequência do aumento dos cátions básicos, os tratamentos que tiveram as maiores somas de bases trocáveis ocorreram nos tratamentos que combinavam a adubação fosfatada e

o biocarvão. Esse mesmo efeito foi observado na capacidade de troca catiônica efetiva (CTC efetiva - t), em que os tratamentos onde houve aplicação de biocarvão foram superiores em até 25% quando comparado ao tratamento controle (Tabela 8). O aumento da CTC efetiva pode estar relacionado a grande quantidade de sítios de cargas negativas, tais como o grupo carboxílico e o fenólico, presentes no biocarvão que apresenta o comportamento de um ânion e que conseqüentemente eleva a capacidade de troca iônica e podendo proporcionar o aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas (Novotny *et al.* 2009; Mukherjee *et al.* 2014). No estudo de Chintala *et al.* (2013), foi observado que todos os tratamentos em que foi aplicado o biocarvão ocorreu a elevação da CTC independente da dose aplicada e ao aplicar a dose 156 t ha⁻¹ o aumento chegou a 122% quando comparado ao tratamento controle.

Outro fator que proporcionou o aumento da CTC efetiva (t) foi a adubação fosfatada, onde o tratamento com superfosfato triplo foi o mais eficiente, sendo 31% superior ao tratamento controle (Tabela 8). Esse aumento pode estar relacionado a adição de Ca provinda das fontes de fósforo utilizadas no estudo que chegam a ser composta por até 16% de Ca (Novais e Smyth 1999). No estudo de Freiburger *et al.* (2014), a adubação fosfatada também se mostrou eficiente no aumento da CTC ao utilizar diferentes doses de superfosfato triplo.

Tabela 9. Médias do teor de fósforo no solo (P) sobre a influência das interações entre biocarvão, fontes de fósforo e genótipo.

Variáveis	Interação	Fator	C-120	C-199	CV
P (mg dm ⁻³)	BC x G	0 t/ ha ⁻¹ BC	67,3 bA	62,9 aA	22,2
		40 t/ ha ⁻¹ BC	80,2 aA	66,7 aB	
	P x G	SFS	0,24 aA	0,20 abB	
		SFT	0,21 abA	0,22 aA	
Sem P		0,19 bA	0,18 bA		
K (cmol _c dm ⁻³)	Interação	Fator	0 t ha⁻¹ BC	40 t/ ha⁻¹ BC	20,4
	BC x P	SFS	0,21 aA	0,22 aA	
		SFT	0,21 aA	0,24 Aa	
		Sem P	0,17 aB	0,2 aA	

¹medias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si.

Também foram observadas interações significativas entre o Biocarvão x Genótipo para o teor de fósforo, Fósforo x Genótipo para teor de potássio (K), e Fósforo x Biocarvão para o teor de K (Tabela 9).

Considerando os teores de P observados neste estudo, os mesmos podem ser considerados altos em relação aos teores encontrados nos solos amazônicos (Tabela 9). A

incorporação do biocarvão causou aumento na disponibilidade P, sendo o tratamento com biocarvão superior 17,8% ao tratamento sem biocarvão, e este efeito foi observado nos valores dos parâmetros de crescimento comparação com o solo não corrigido (Tabela 5). Para Shen *et al.* (2016), a diferença na resposta pode estar atribuída aos nutrientes adicionais fornecidos pelo biocarvão através das cinzas. O estudo de Lima *et al.* (2017) corrobora com os resultados encontrados, em que o biocarvão teve a capacidade de elevar o teor de P em 75% quando comparado ao tratamento controle, sendo utilizada a dose 20 t ha⁻¹ de biocarvão.

Os tratamentos com a incorporação de biocarvão tiveram um acréscimo de 12,5% no teor de K, mostrando assim a relevância desse material para a melhoria da fertilidade do solo (Tabela 9). Para Sohi *et al.* (2010) e Woiciechowski *et al.* (2018), o aumento desse nutriente ocorreu porque o biocarvão é composto em parte por cinzas, sendo fonte de vários nutrientes, entre eles o K que é encontrado mais solúvel e acessível as plantas. O estudo de Trazzi (2010) corrobora com essas informações, onde a adição de biocarvão (12 t ha⁻¹) elevou o teor de K no solo de 0,3 para 0,5 cmol_c dm⁻³. Os teores de K observados em todos os tratamentos deste estudo encontram-se na faixa considerada média para solos da Amazônia que varia entre (0,12 a 0,23 cmol_c dm⁻³) (Brasil *et al.* 2020).

6. CONCLUSÃO

O superfosfato simples é o fertilizante fosfatado mais eficiente para produzir mudas de café conilon quando utilizada a dose 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A aplicação do SFS proporcionou os maiores incrementos na altura da planta e na área foliar, o mesmo efeito foi observado nos nutrientes foliares.

O biocarvão tem efeitos específicos sobre alguns nutrientes do solo aumentando os teores de N, Mg e diminuindo a acidez potencial. E também foi observado um aumento no teor de nitrogênio na planta, porém não influenciou o crescimento da muda.

Há efeito sinérgico do biocarvão-SFS e biocarvão-SFT para aumentar os teores de cálcio, magnésio, potássio, nitrogênio, e conseqüentemente, tem a capacidade de elevar a soma das bases, CTC efetiva e saturação por bases.

O genótipo mais adequado para produzir mudas em casa de vegetação em Manaus foi o clone BRS Ouro Preto C-120.

Novas pesquisas deveram ser conduzidas para avaliar diferentes doses que sejam abaixo de 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e doses biocarvão acima de 40 kg ha⁻¹ afim de determinar a melhor combinação entre doses de biocarvão e fósforo.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu Júnior., C.H.; Muraoka, T.; Lavorante, A.F. 2003. Relationship between acidity and chemical properties of Brazilian soils. *Scientia Agricola*, 60: 337-343.

Almeida, L.C.; Barbosa, A.S.; Fricks, A.T.; Freitas, L.S.; Lima, A.S.; Soares, C.M.F. 2017. Use of conventional or non-conventional treatments of biochar for lipase immobilization. *Process Biochemistry*, 61: 124-129. doi:10.1016/j.procbio.2017.06.020

Alvares, C.A.; Stape, J.I.; Sentelhas, P.C.; Moraes, Q.; Leonardo, J.; Sparovek, Q. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22: 711-728.

Alves, J.D.N. 2015. Fontes de fósforo no crescimento inicial de mudas de jatobá-do. *Nucleus*, 12: 1-13.

Alves, L.; Silva Filho, G.N. 2009. Produção de mudas de alface (*Lactuca sativa* L.) em presença de diferentes fontes fosfatadas e microrganismos solubilizadores de fosfatos. *Semina: Ciências Agrárias*, 30: 557-562.

Andrade, C.A.D.; Bibar, M.P.S.; Coscione, A.R.; Pires, A.M.M. Soares, A.G. 2015. Mineralization and effects of poultry litter biochar on soil cation exchange capacity. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50: 407-416.

Antal, M.J.; Gronli, M. 2003. The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial e Engineering Chemistry Research.*, 41:1619–1640.

Balbino, T.J. 2016. Substratos alternativos para a produção de mudas clonais de *Coffea canephora* em tubete. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, Amazonas, 64p.

Bonelli, P.R.; Della Rocca P.A.; Cerrella, E.G.; Cukierman, A.L. 2010. Effect of pyrolysis temperature on composition, surface properties and thermal degradation rates of Brazil Nut shells. *BioresTechnol*, 76:15–22.

Bragança, S M.; Prieto Martinez, H.E.; Leite, H.G.; Santos, L.P.; Sediyaama, C.S.; Alvarez V.V.H.; Lani, J.A. 2008. Accumulation of Macronutrients for the Conilon Coffee Tree. *Journal Plant Nutrition*, 3: 103-120.

Brasil, E.C.; Cravo, M.S.; Viégas, I.J.M. 2020. *Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará*. (2ª Ed) Embrapa, Brasília, 419p.

Busato, J.G. 2004. *Formas de fósforo de um Cambissolo cultivado com canade-açúcar, com preservação do palhiço e adição de vinhaça por longo tempo*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 66p.

- Candido, A.O. 2013. Desenvolvimento inicial do cafeeiro arábica sob fontes de fósforo. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre. 66p.
- Cedano, J.C.C. 2017. *Biocarvão e pó de serra e seu efeito no crescimento e produção do Feijão-caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp.) em solos de terra firme da Amazônia central*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 52p.
- Chan, K.Y.; Xu, Z. 2009. Biochar: Nutrient properties and their enhancement. In: Lehmann, J.; Joseph, S. *Biochar for environmental management: Science and technology*. Earthscan, London, UK, 67-84p.
- Charrier, A.; Berthaud, J. 1985. Botanical classification of coffee. In: Clifford, M.N.; Willson, K.C. *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage*. London: Croom Helm, Westport, Conn, 13-47p.
- Chaves, J.C.D. 2002. *Manejo do Solo: Adubação e calagem, antes e após a implantação da lavoura cafeeira*. Instituto Agrônômico do Paraná, Curitiba, 36p.
- Chaves, J.C.D. 2002. *Manejo do solo: Adubação e calagem, antes e após a implantação da lavoura cafeeira*. Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina, 35p.
- Chintala; R., Mollinedo, J.; Schumacher, T.E.; Malo, D. D.; Julson, J. L. 2013. Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60: 393-404, doi:10.1080/03650340.2013.789870
- Cline, M. 1975. Origin of the term Latosol. *Soil Science Society of America, Proceedings*. 39, 162p.
- Coelho, M.A.; Fusconi, R.; Pinheiro, L.; Ramos, I.C.; Ferreira, A.S. 2018. The combination of compost or biochar with urea and NBPT can improve nitrogen-use efficiency in maize. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 90: 1695–1703. doi:10.1590/0001-3765201820170416
- CONAB, 2021. Acompanhamento da safra brasileira de café, 120p.
- Cravo, M.S.; Veigas, I.J.M.; Brasil, E.C. 2007. *Recomendações de Adubação e calagem para o estado do Pará*. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 262p.
- Cui, L.; Noerpel, M.R.; Scheckelb, K.G.; Ippolitoc, J.A. 2017. Wheat straw biochar reduces environmental cadmium bioavailability. *Environment International*, 129: 69-75. doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.022
- Cui, Y.; Meng, J.; Wang, Q.; Zhang, W.; Cheng, X.; Chen, W. 2017. Effects of straw and biochar addition on soil nitrogen, carbon, and super rice yield in cold waterlogged paddy soils of North China. *Journal of Integrative Agriculture*, 16: 1064-1074.
- Damaceno, J.B.D.; Oliveira, D.M. 2016. Biocarvão: Um possível condicionador de fósforo em solos amazônicos. *Desarrollo Local Sostenible*, 9: 1-8.

- Davanso, V. M.; Souza, L. A.; Medri, M. E.; Pimenta, A.; Bianchini, E. 2002. Photosynthesis, Growth and development of *Tabebuia ovellana* Lor. Ex Griseb. (*Bignoniaceae*) in flooded soil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 45: 375-384.
- Davis, A.P.; Tosh, J.; Ruch, N.; Fay, M.F. 2011. Growing coffee: *Psilanthus* (*Rubiaceae*) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 167: 357-377. doi:10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x
- Deluca, T.H.; Mackenzie, M.D.; Gundale, M.J. 2009. Biochar effects on soil nutrient transformation. In: Lehmann, J.; Joseph, S. (Ed.). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. London: Earthscan, 251-270p.
- Demattê, J.L.I.; Demattê, J.A.M. 1993. Comparações entre as propriedades químicas de solos das regiões da floresta Amazônica e do Cerrado do Brasil Central. *Scientia Agricola*, 502: 272-286.
- Dezordi, C.; Teixeira, W.G. 2008. *Integrando esforços para o desenvolvimento da Amazônia*. Seminário de Pós-Graduação na Embrapa Amazônia Ocidental. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Am. 124p.
- El-Naggar, A.; Lee, S.S.; Awad, Y.A.; Yang, X.; Ryu, C.; Rizwan, M.; Rinklebe, J.; Tsang, D.C.W.; Ok, S.Y. 2018. Influence of soil properties and feedstocks on biochar potential for carbon mineralization and improvement of infertile soils. *Geoderma*, 332: 100-108.
- El-Naggar, A.; Lee, S.S.; Awad, Y.M.; Yang, X.; Ryu, C.; Rizwang, M.; Rinklebeh, J.; Tsangj, D.C.W.; Oka, Y.S. 2018. Influence of soil properties and feedstocks on biochar potential for carbon mineralization and improvement of infertile soils. *Geoderma*, 332: 100-108. doi:10.1016/j.geoderma.2018.06.017
- Embrapa, 1999. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.
- Fageria, N.K.; Moreira, A. 2011. *O papel da nutrição mineral no crescimento radicular de plantas de cultivo*. *Avanços em Agronomia*, Burlington: Academic Press, 331p.
- Falcão, N.P.S.; Carvalho, E.J.M.; Comerford, N. 2001. Avaliação da fertilidade de solos antropogênicos da Amazônia Central. In: *XI Congresso da Sociedade de Arqueologia Brasileira*, Grupo de trabalho: Terras Pretas Arqueológicas na Amazônia, Estado da Arte, Rio de Janeiro.
- Falcão, N.P.S.; Silva, J.R.A. 2004. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. *Acta Amazonica*. 34: 337-342.
- Fernandes, C.; Muraoka, T. 2002. Absorção de fósforo por híbridos de milho cultivados em solo de cerrado. *Scientia Agricola*, 59: 781-787.

Ferrão, R.G.; Fonseca, A.F.A.; Ferrão, M.A.G.; Muner, L.H.; Verdim Filho, A.C.; Volpi, P.S.; Marques, E.M.G.; Zucatei, F. 2004. *Café conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas*. Incaper, Vitória, ES, 60p.

Fidel, R.B.; Laird, D.A.; Thompson, M.L.; Lawrinenko, M. 2017. Characterization and quantification of biochar alkalinity. *Chemosphere*, 167: 367–373. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.09.151

Figueredo, N.A.; Costa, L.M.; Melo, L.C.A.; Siebeneichler, E. A.; Tronto, J. 2017. Characterization of biochars from different sources and evaluation of release of nutrients and contaminants. *Revista Ciência Agronômica*, 48:395-403. doi: 10.5935/1806-6690.20170046

Freiberger, M.B.; Guerrini, I A.; Castoldi, G.; Pivetta, L.G 2014. Adubação fosfatada no crescimento inicial e na nutrição de mudas de pinhão-manso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38: 232-239.

Gatiboni, L.C.; Brunetto, G.; Rheinheimer, D.S.; Kaminski, J. 2013. Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: usos e limitações. *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa, 8: 141-187.

Glaser, B.; Haumaier, L.; Guggenberger, G.; Zech, W. 2001. The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, 88: 37-41.

Glaser, B.; Haumeier, L.; Guggenberger, G.; Zech, W. 2001. The “Terra Preta” Phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics’, *Naturwissenschaften*, 88: 837-41.

Glaser, B.; Lehmann, J.; Zech, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35: 219-230.

Glaser, B.; Lehmann, J.; Zech, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35: 219-230.

Goldschmidt, E.E.; Huber, S.C. 1992. Regulation of photosynthesis by end-product accumulation in leaves of plants storing starch, sucrose, and hexose sugars. *Plant Physiology*, 99:1443-1448.

Grant, C.A.; Flaten, D.N.; Tomasiewicz, D.J.; Sheppard, S.C. 2001. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. *Informações Agronômicas: Potafós*, 95: 1-16.

Guimarães, P.T.G.; Nogueira, F.D.; Dias, K.G.L.; Reis, T.H.P. 2011. Adubação do cafeeiro e a qualidade do produto colhido. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 32: 39-51.

Guimaraes, R.S.; Padilha, F.J.; Cedano, J.C.C.; Damaceno, J.B.D.; Werber, H.; Gama, R.T.; Oliveira, D.M.; Teixeira, W.; Falcao, 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.

- Guppy, C.N.; Menzies, N.W.; Mood, P.W.; Blamey, F.P.C. 2005. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. *SoilResearch*; 43:189-202.
- IBRAM. 2010. Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira: Fósforo/Potássio/Fertilizantes. 5: 1-4. (<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000978.pdf>). Acessado em 20/02/2020.
- IDAM. 2019. Projetos Prioritários do IDAM, Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas, Manaus, 41p.
- Kaminski, J.; Peruzzo, G. 1997. *Eficácia de fosfatos naturais em sistemas de cultivo*. Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Santa Maria, 31p.
- Ker, J.C. 1997. Latossolos do Brasil: Uma Revisão. *Geonomos*, 5: 17-40.
- Kerbaudy, G. B. *Fisiologia vegetal*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012. 431 p.
- Kinpara, D.I. 2003. *A importância estratégica do potássio para o Brasil*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 27p.
- Köppen, W. 1948. *Climatologia: conunstudio de los climas de latierra*. Fondo de Cultura Economica, México, 478 p.
- Lana, R.M.Q.; Zanão Júnior, L.A.; Luz, J.M.Q.; Silva, J.C. 2004. Produção de alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solos de Cerrado. *Horticultura Brasileira*, 22: 525-528.
- Lehmann, J.; Joseph, S. 2009. *Biochar for environmental management: science and technology*. Earthscan, London, 207-226p.
- Lehmann, J.; Rillig, M.C.; Thies, J.; Masiello, C.A.; Hockaday, W.C., Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43: 1812-1836. doi:10.1016/j.soilbio.2011.04.022
- Li, J.; Yu, G.; Xie, S.; Pan, L.; Li, C.; You, F.; Wang, Y. 2018. Immobilization of heavy metals in ceramsite produced from sewage sludge biochar. *Science of The Total Environment*, 629: 131-140. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.02.036
- Liang, F.; Li, G.T.; Lin, Q.M.; Zhao, X.R. 2014. Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil. *Journal of Integrative Agriculture*, 13: 525–532.
- Lima, H.N. 2001 *Gênese, Química, Mineralogia e Micromorfologia de Solos da Amazônia Ocidental*. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil.
- Lima, I. S.; Gonzaga, M. I. S.; Almeida, A. Q.; Massaranduba, W. M. 2017. Lixiviação de íons em argissolo amarelo tratado com biocarvão de casca de coco seco e cultivado com girasol (*Helianthus annuus L.*). *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 11: 1956-1965.

- Lima; S.L.; Marimon Junior; B.H.; Melo-Santos; K.S.; Reis; S.M.; Petter; F.A.; Vilar; C.C.; Marimon; B.S. 2016. Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51: 1-14. doi:10.1590/s0100-204x2016000200004
- Lusiba, S.; Odhiambo, J.; Ogola; J. 2017. Growth; yield and water use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum*): response to biochar and phosphorus fertilizer application. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64: 1-14. doi:10.1080/03650340.2017.1407027
- Malavolta, E. 1980. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. Ceres, São Paulo, 251p.
- Malavolta, E. 1992. *ABC da análise de solos e folhas*. São Paulo: Ceres, 124p.
- Malavolta, E., 2006. *Manual de nutrição de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 631p.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. 1997. *Avaliação do Estado Nutricional das Plantas*. Potafos, Piracicaba, SP. 1997, 319p.
- Malavolta, E. 1993. "Calagem," in *Nutrição mineral e adubação do cafeeiro*. Editora Agronômica Ceres, São Paulo, 59p.
- Marcolan, A.L.; Espíndula, M. C. 2015. *Café na Amazônia*. Embrapa, Brasília, 518p.
- Marcolan, A.L.; Ramalho, A.R.; Mendes, A.M.; Teixeira, C.A.D.; fernandes, C.F.; Costa, J.N.M.; Vieira Júnior, J.R.; Oliveira, S.J.M.; Fernandes, S.R.; Veneziano, W. 2009. *Cultivo dos cafeeiros conilon e Robusta para Rondônia*. Porto Velho: Emater-RO, Embrapa Rondônia, 67p.
- Martha Junior, G.B.; Alves, E.R.A.; Contini, E. 2011. Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46: 1117-1126.
- Martha Júnior, G.B.; Contini E.; Navarro, Z. 2011. *Caracterização da Amazônia Legal e macrotendências do ambiente externo*. Brasília, DF: Embrapa Estudos e Capacitação. 50p.
- Martina, S.L.; Clarke, M.L.; Othmana, M.; Ramsdena, S.J.; West, H.M. 2015. Biochar-mediated reductions in greenhouse gas emissions from soil amended with anaerobic digestates. *Biomass and Bioenergy*, 79: 9-49. doi:10.1016/j.biombioe.2015.04.030
- Martins; L.D.; Tomaz; M.A.; Amaral, J.F.T.; Christo, L.F.; Rodrigues, W.N.; Colodetti, T.V.; Brinati, S.V.B. 2013. Alterações morfológicas em clones de cafeeiro conilon submetidos a níveis de fósforo. *Scientia Plena*, 9: 1-10.
- Martinsen, V.; Alling, V.; Nurida, N.L. ; Mulder, J.; Hale, S.E; Ritz, C.; Rutherford, D.W.; Heikens, A.; Breedveld, G.D.; Cornelissen, G. 2015. pH effects of the addition of three biochars to acidic Indonesian mineral soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61: 821–834. doi:10.1080/00380768.2015.1052985
- Matovic, D. 2011. Biochar as a viable carbon sequestration option: Global and Canadian perspective. *Energy*, 36: 1-4. doi:10.1016/j.energy.2010.09.031

- Mete, F.Z.; Mia, S.; Dijkstra, F.A.; Abuyusuf, M.; Hossain, A.S.M.I. 2015. Synergistic Effects of Biochar and NPK Fertilizer on Soybean Yield in an Alkaline Soil. *Pedosphere*, 25: 713-719. doi:10.1016/s1002-0160(15)30052-7
- Miranda, N.D.O.; Pimenta, A.S.; Silva, G.G.C.D.; Oliveira, E.M.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: 313-323. doi:10.1590/1983-21252017v30n206rc
- Miyazawa, M.; Pavan, M.A.; Muraoka, T.; Carmo, C.A.F.S.; Melo, W. J. 1999. Análise química de tecidos vegetais. In: Silva, F.C. (Ed.). *Manual de Análise Química de Solos, Plantas e Fertilizantes*. EMBRAPA, Brasília, p. 172-223.
- Monteiro, R.S.; Oliveira, V.E.A.; Malta, A.O.; Pereira, W.E.; Silva, J.A.; Malta, A.O. 2018. Produção de mudas de cafeeiro em função da época e da adubação fosfatada. *Revista PesquisAgro*, Confresa-MT. 1: 29-38.
- Mukherjee, A.; Lal, R.; Zimmerman, A.R. 2014. Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil. *Science of the Total Environment*, 487: 26–36.
- Nakayama, L.H.I.; Caceres, N.T.; Alcarde, J.C. 1998. Eficiência relativa de fontes de fósforo de diferentes solubilidades na cultura do arroz. *Scientia Agricola*, 55: 183-90.
- Noronha, A.C. 2014. *Crescimento e produção de feijão-caupi (vigna unguiculata l. walp) em função do efeito residual de carvão vegetal e pó de serra em Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 63p.
- Novais, R.F.; Smyth, T.J. 1999. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Universidade Federa de Viçosa, Viçosa, 399p.
- Novais, R.F.; Smyth, T.J.; Nunes, F.N. Fósforo. In: Novais, R.F.; Alvarez V.V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. 2007. *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 471-537p.
- Novak, J.M.; Busscher, W.J.; Laird, D.L.; Ahmedna, M.; Watts, D.W.; Niandou, M.A.S. 2009. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*, 174: 105–112.
- Novotny, E.; Hayes, M.H.B.; Madari, B.E.; Bonagamba, T. J.; Azevedo, E. R.; Souza, A. A.; Song, G.; Nogueira, C. M.; Mangrich, A. S. 2009. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilization of charcoal for soil amendment. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 20: 1003-1010.
- Obia, A.; Mulder, J.; Hale, S.E.; Nurida, N.L.; Cornelissen, G. 2018. The potential of biochar in improving drainage, aeration and maize yields in heavy clay soils. *Plos One*, 13: 1-18. doi:10.1371/journal.pone.0196794

- Oladele, S.; Adeyemo, A.; Awodun, M.; Ajayi, A.; Fasina, A. 2019. Effects of biochar and nitrogen fertilizer on soil physicochemical properties, nitrogen use efficiency and upland rice (*Oryza sativa*) yield grown on an Alfisol in Southwestern Nigeria. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0251-0>
- Oliveira, D.M. 2012. *Efeito do carvão de bambu e diferentes fontes de P na biodisponibilidade de nutrientes em latossolo amarelo*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 38p.
- Oliveira, J.B. 2005. *Pedologia aplicada*. 2.ed. Piracicaba:ESALQ, 574p.
- Paz-Ferreiro, J.; Méndez, A.; Gascó, G. 2016. Application of Biochar for Soil Biological Improvement. *Soil Science Society of America*. v., 63, 14-17 p. doi:10.2136/32014.0041.5
- Peluzio, J.M.; Casali, V.W., Lopes, N.F., Miranda, G.V.; Santos, G.R. 1999. Comportamento da fonte e do dreno em tomateiro após a poda apical acima do quarto cacho. *Ciência Agrotécnica*, 23: 510-514
- Prezotti, L.C.; Gomes, J.A.; Dadalto, G.G.; Oliveira, J.A. 2007. *Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo*. SEEA/INCAPER/ CEDAGRO, Vitória, 305p.
- Prezotti, L.C.; Guarçoni, M.A. 2013. *Guia de interpretação de análise de solo e foliar*. Vitória, ES : Incaper, 104p.
- Prochnow, L.I.; Casarin, V.; Stipp, S.R. 2010. *Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes*. Piracicaba, SP: IPNI – Brasil, 71-126.
- Produção de mudas de cafeeiro em função da época e da adubação fosfatada. *Revista PesquisAgro*, 1: 28-38. doi:10.33912/AGRO.2596-0644.2018.v1.n1.p28-38.id213
- Ramalho, A.R.; Rocha, R.B.; Souza, F.F.; Teixeira, A.L.; Veneziano, W. 2011. Progresso genético com a seleção de clones de ‘Conilon’ no Estado de Rondônia. In: Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil, Araxá. Coletânea de anais: I a VII. Brasília: Embrapa Café.
- Ramalho, A.R.; Rocha, R.B.; Veneziano, W.; Santos, M.M. 2014. Cultivar de cafeeiro Conilon BRS Ouro Preto: características agronômicas e agroindustriais. Embrapa Rondônia, Comunicado Técnico, Porto Velho, RO. 10p.
- Resende, A. V.; Furtini Neto, A. E.; Curi, N. 2005. Mineral nutrition and fertilization of native tree species in Brazil: research progress and suggestions for management. *Journal of Sustainable Forestry*, 20: 45-81.
- Resende, A.V.; Furtini Neto, A.E. 2007. *Aspectos Relacionados ao Manejo da Adubação Fosfatada em Solos do Cerrado*. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. 32p.

- Rezende, F.A.; Santos, V.A.H.F.; Maia, C.M.B.F.; Morales, M.M. 2016. Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*; 51: 1-12. doi:10.1590/s0100-204x2016000900043
- Roquim, C.C. 2010. *Conceitos de fertilidades do solo e manejo adequado para regiões tropicais*. Campinas: Embrapa Monitoramento por satélite, 30p.
- Ros, C.R.; Sestari, G.; Jaeger, C.; Oliveira, E.H.; Weber, M.L.; Silva, R.F.; Torchelsen, M. 2019. Efeito da calagem e da adubação fosfatada no crescimento inicial e na nutrição das plantas de *Khaya ivorensis*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, 47: 430-439. doi.org/10.18671/scifor.v47n123.05
- Rufino, J.L.S. 2006. *Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café: antecedentes, criação e evolução*. Brasília: Embrapa Café/Informação Tecnológica.
- Sanchez, P.A.; Villachica, J.H.; Bandy, D.E. 1983 Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. *Soil Science Society of America Journal*, 47: 1171-1178.
- Santos, A.B.; Stone, L.F.; Vieira, N.R.A. 2006. *A cultura do arroz no Brasil*. 2. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1000p.
- Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Lumbrreras, J.F., Coelho, M.R., Almeida, J.A., Araujo Filho, J.C., Oliveira, J.B., Cunha, T.J.F. 2018. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5ª Ed. Embrapa Soils, 356p.
- Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Lumbrreras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.; Araujo Filho, J.C.; Oliveira, J.B.; Cunha, T.J.F. 2018. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Embrapa Soils, 5: 1-356.
- Santos, J.L.S. 2013. Biocarvão como condicionador da fertilidade e da microbiotain de solo de cerrado cultivado com soja. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, 104p.
- Santos, J.Z.L.; Resende, A.V.D.; Furtini Neto, A.E., Corte, E.F. 2008. Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. *Revista Árvore*, 32: 799-807.
- Schaefer, C.E.G.R.; Lima, H.N.; Vale Júnior, J.F.; Mello, J.W.V. 2000. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciência da Terra*, 12: 63-104.
- Schulz, H.; Dunst, G.; Glaser, B. 2014. No effect level of co-composted biochar on plant growth and soil in a greenhouse experiment. *Agronomy*, 4: 34-51.
- Shen, Q.; Hedle, Q.; Camps, A.M.; Kirschbaum, M.U.F. 2016. Can biochar increase the bioavailability of phosphorus?. *Journal of soil science and plant nutrition*, 16: 268-286. doi.org/10.4067/S0718-95162016005000022

- Sigua, G.C.; Novak, J.M.; Watts, D.W.; Johnson, M.G.; Spokas, K. 2016. Efficacies of designer biochars in improving biomass and nutrient uptake of winter wheat grown in a hard setting subsoil layer. *Chemosphere*, 142: 176-183.
- Silva, I.C.B.; Fernandes, L.A.; Colen, F.; Sampaio, R.A. 2017, Growth and production of common bean fertilized with biochar. *Ciência Rural*, 47: 1-12. doi:10.1590/0103-8478cr20170220
- Silva, H.A.S.; Buzetti, S.; Gazola¹, R.N.; Marques, G.G.; Teixeira Filho, M.C.M.; Gazola, R.P.D. 2019. Crescimento inicial de clones de Eucalyptus em função da adubação NPK. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, 13:44-50.
- Silva, I.M.; Schiavon, N.C.; França, A.C.; Lemos, V.T.; Farnezi, M.M.M.; Bênto, B.M.C. 2020. Ácido cítrico e fósforo no crescimento e acúmulo de nutrientes no cafeeiro. *Magistra*, Cruz das Almas – BA, 30: 523-531.
- Soares, J.N.; Reis, J.M.R.; Sabrina, I.; Reis, M.R.; Gontijo, R.G. 2013. Avaliação do desenvolvimento de mudas de jatobá-do-cerrado (*Hymenaea Stigonocarpa* Mart.) em diferentes fontes de fósforo. *Cerrado Agrociências*, 4: 35-41.
- Sohi, S.P.; Krull, E.; Lopez-Capel, R.; Bol, A. 2010. Review of biochar and its use and function in soil. In: Sparks, D. L. (Ed.). *Advances in Agronomy*. Burlington: Academic Press, 82p.
- Sousa, A.A.T.C.; Figueiredo, C.C. 2015. Sewage sludge biochar: effects on soil fertility and growth of radish. *Biological Agriculture & Horticulture*, 32: 127-138.
- Sousa, D.M.G.; Lobato, E.; Rein, A.T. 2004. Adubação fosfatada. In: Sousa, D.M.G.; Lobato, E. *Cerrado: correção do solo e adubação*. Brasília: Embrapa Cerrados, 2: 147-168.
- Sousa, D.M.G.; Rein, T.A.; Goedert, W.J.; Lobato, E.; Nunes, R.S. Fósforo. In: Prochnow, L.I.; Casarin, V.; Stipp, S.R. 2010. *Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes*. International Plant Nutrition Institute, 2: 67-132.
- Spokas K.A.; Novak J.M.; Venterea, R.T. 2012. Biochar's role as an alternative N fertilizer: ammonia capture. *Plant Soil*, 350: 35-42. doi:10. 1007/s11104-011-0930-8
- Spokas, K.A.; Reicosky, D.C. 2009. *Impacts of sixteen different biochars on soil greenhouse gas production*. *Annals of Environmental Science*, 3:1-4.
- Sprey, M.M. 2020. Adubação orgânica e mineral no estabelecimento de mudas clonais de café conilon BRS Ouro Preto na Amazônia Central. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 52p.
- Taiz, L.; Zeiger, E. 2013. *Fisiologia vegetal*. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 918p.
- Trazzi, P.A.; Caldeira, M.V.W.; Colombi, R. 2010. Avaliação de mudas de Tecomastans utilizando bio sólido e resíduo orgânico. *Revista de Agricultura*, 85: 218-226.

Widowati, W.; Asnah, A. 2014. Biochar Can Enhance Potassium Fertilization Efficiency and Economic Feasibility of Maize Cultivation. *Journal of Agricultural Science*, 6: 1-13. doi:10.5539/jas.v6n2p24

Wien, H.C. 1997. *The physiology of vegetable crops*. CAB International, Wallingford, UK.

Woiciechowski, T.; Lombardi, K.C.; Garcia, F.A.O.; Gomes, G.S. 2018. Nutrientes e umidade do solo após a incorporação de biocarvão em um plantio de *Eucalyptus benthamii*. *Ciência Florestal*, 8: 1455-1464. doi: <https://doi.org/10.5902/1980509835053>

Zimmerman, A.R. 2010. Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar). *Environmental Science Technology*, 44: 1295-1301.

Anexo 1

Resumo da análise de variância (ANOVA) para os efeitos do biocarvão (BC), fósforo (P), genótipo e a interação destes nos parâmetros biométricos.

FATOR	GL	QUADRADO MÉDIO							
		GF	GAA	GAD	TCAA	TCAD	MSR	MSPA	MST
BC	1	5,04 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,27 ^{ns}
P	2	36,64**	35,50**	0,66**	0,99**	0,02**	1,22**	9,71**	17,37**
G	1	26,04 ^{ns}	45,38**	0,32*	1,27**	0,01*	0,24 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,07 ^{ns}
BC*P	2	1,57 ^{ns}	5,19 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,21 ^{ns}	4,32 ^{ns}	6,40 ^{ns}
BC*G	1	0,16 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,20 ^{ns}	4,15 ^{ns}	6,20 ^{ns}
P*G	2	4,26 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,45 ^{ns}	1,96 ^{ns}
BC*P*G	2	5,32 ^{ns}	2,70 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,67 ^{ns}	1,92 ^{ns}
Erro		6,99	5,37	0,06	0,15	0,00	0,21	1,79	2,99
Total	10								
Média Geral		5,04	4,30	0,60	0,72	0,11	1,13	4,94	6,08
CV (%)		52,43	53,86	39,31	53,86	39,23	40,14	27,08	28,45

** e * significativo a 1 e 5% pelo teste de Duncan, respectivamente; ns: não significativo; F.V.: Fonte de Variação; BC: biocarvão; P: fósforo; BC x P: Interação biocarvão x fósforo; BC x G: biocarvão x genótipo; P x G: fósforo x genótipo; BC x P x G: biocarvão x fósforo x genótipo; CV: Coeficiente de Variação.

Anexo 2

Resumo da análise de variância (ANOVA) para os efeitos de biocarvão (BC), do Fósforo (P), do Genótipo e a interação destes nos aspectos nutricionais das mudas de café conilon.

FATOR	GL	QUADRADO MÉDIO		
		N	P	K
BC	1	44,04*	0,06 ^{ns}	0,15 ^{ns}
P	2	5,70 ^{ns}	23,84**	1,65*
G	1	73,61*	1,24**	0,31 ^{ns}
BC*P	2	30,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,18 ^{ns}
BC*G	1	0,71 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,09 ^{ns}
P*G	2	20,94 ^{ns}	0,72**	0,91 ^{ns}
BC*P*G	2	0,78 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,79 ^{ns}
Erro		10,63	0,07	0,52
Total	10			
Média Geral		21,01	1,19	5,73
CV (%)		14,92	23,12	12,66

** e * significativo a 1 e 5% pelo teste de Duncan, respectivamente; ns: não significativo; F.V.: Fonte de Variação; BC: biocarvão; P: fósforo; BC x P: Interação biocarvão x fósforo; BC x G: biocarvão x genótipo; P x G: fósforo x genótipo; BC x P x G: biocarvão x fósforo x genótipo; CV: Coeficiente de Variação.

Anexo 3

Tabela 13. Resumo da análise de variância (ANOVA) para os efeitos de biocarvão (BC), do Fósforo (P), do Genótipo e a interação destes nos atributos químicos do solo

FATOR	GL	QUADRADO MÉDIO										
		pH	N	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	v%
BC	1	0,13 ^{ns}	0,00 ^{ns}	488,2 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1,05 [*]	00 ^{ns}	25,39 ^{ns}
P	2	0,18 [*]	0,00 ^{ns}	1456373 ^{**}	0,01 [*]	1,77 ^{**}	0,16 ^{**}	0,10 [*]	1,29 ^{**}	0,82 [*]	2,54 ^{**}	0,99 ^{ns}
G	1	0,25 [*]	0,01 ^{ns}	1936,5 ^{**}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,10 ^{**}	0,26 ^{**}	1,41 ^{**}	3,08 ^{**}	10,06 ^{ns}	382,8 ^{**}
BCx P	2	0,10 [*]	0,01 [*]	410,2 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,67 ^{**}	0,15 ^{**}	0,11 [*]	1,03 ^{**}	0,57 [*]	0,01 ^{ns}	111,8 ^{**}
BC x G	1	0,55 ^{**}	0,04 ^{**}	1671,3 ^{**}	0,02 [*]	1,07 ^{**}	0,15 ^{**}	0,32 ^{**}	0,81 ^{**}	0,83 [*]	0,47 ^{ns}	11,10 ^{**}
P x G	2	0,78 ^{**}	0,01 ^{**}	516,5 ^{ns}	0,02 [*]	0,65 ^{**}	0,20 ^{**}	0,70 ^{**}	0,77 ^{**}	2,97 ^{**}	0,11 ^{ns}	76,00 ^{**}
BC x P x G	2	0,34 ^{**}	0,02 ^{**}	403,2 ^{ns}	0,00 ^{ns}	1,45 ^{**}	0,20 ^{**}	0,20 ^{**}	1,05 ^{**}	0,66 ^{**}	2,32 ^{**}	67,69 ^{**}
Erro		0,04	0,00	236,6	0,00	0,08	0,01	0,02	0,11	0,17	0,23	11,25
Total	10											
Média Geral		3,86	0,87	0,72	0,21	1,23	0,47	0,72	2,31	3,17	2,84	32,37
CV (%)		5,38	6,54	21,14	20,39	23,57	25,13	21,14	9,53	13,08	16,94	8,52

** e * significativo a 1 e 5% pelo teste de Duncan, respectivamente; ns: não significativo; F.V.: Fonte de Variação; BC: biocarvão; P: fósforo; BC x P: Interação biocarvão x fósforo; BC x G: biocarvão x genótipo; P x G: fósforo x genótipo; BC x P x G: biocarvão x fósforo x genótipo; CV: Coeficiente de Variação.