

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR

**AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE UM
CAMBISSOLO HÁPLICO E CRESCIMENTO INICIAL
DE *Eucalyptus benthamii* APÓS A APLICAÇÃO DE
BIOCARVÃO NA REGIÃO DE IRATI-PR**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

THIAGO WOICIECHOWSKI

**IRATI-PR
2011**

THIAGO WOICIECHOWSKI

**AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE UM CAMBISSOLO HÁPLICO E
CRESCIMENTO INICIAL DE *Eucalyptus benthamii* APÓS A APLICAÇÃO DE
BIOCARVÃO NA REGIÃO DE IRATI-PR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Prof(a). Dra. Kátia Cyrene Lombardi
Orientadora

Prof. Dr. Flávio Augusto de Oliveira Garcia
Co-orientador

Prof(a). Dra. Gabriela Schmitz Gomes
Co-orientadora

IRATI-PR
2011

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

- W847a WOICIECHOWSKI, Thiago.
Avaliação dos atributos de um Cambissolo Háplico e crescimento inicial de *Eucalyptus benthamii* após a aplicação de biocarvão na região de Irati-PR / Thiago Woiciechowski – Irati, PR, 2011.
- 64f.
- Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR
Orientador : Profª Drª Kátia Cyrene Lombardi
Co-Orientador : Prof. Dr. Flávio Augusto de Oliveira Garcia
Co-Orientador : Profª Drª. Gabriela Schmitz Gomes
- Bibliografia
1. Engenharia Florestal – dissertação. 2. Eucalipto-avaliação.
I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.
- CDD 20ª ed. 583.42



Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PARECER

Defesa Nº 20

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, *Campus* de Irati, após arguir o mestrando **Thiago Woiciechowski** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE UM CAMBISSOLO HÁPLICO E CRESCIMENTO INICIAL DE *Eucalyptus benthamii* APÓS A APLICAÇÃO DE BIOCÁRVÃO NA REGIÃO DE IRATI-PR", é de parecer favorável à APROVAÇÃO do estudante, habilitando-o ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 28 de fevereiro de 2011.

Dr.^a Claudia Maria Branco de Freitas Maia
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Primeira Examinadora

Dr. Antonio Carlos Vargas Motta
Universidade Federal do Paraná
Segundo Examinador

Dr.^a Kátia Cylene Lombardi

Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientadora e Presidente da Banca Examinadora

Home Page: <http://www.unicentro.br>

Campus Santa Cruz: Rua Pres. Zacarias 875 – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090 – CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA – PR
Campus CEDETEG: Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03 – Fone/FAX: (42) 3629-8100 – CEP 85.040-080 – GUARAPUAVA – PR
Campus de Irati: PR 153 – Km 07 – Riozinho – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3000 – FAX: (42) 3421-3067 – CEP 84.500-000 – IRATI – PR

À amada filha Ilana Beatriz
À amada esposa Sabryna
Aos amados pais, Orley e Marilda

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meu caminho e me dar força e coragem para sempre seguir em frente.

À minha filha Ilana Beatriz e a minha esposa Sabryna pelo amor, carinho, companheirismo, incentivo e por todos os meus momentos de “ausência” para elaboração desse trabalho;

À família Woiciechowski, aos meus pais Orley e Marilda, aos meus irmãos, Andressa, Anny, Renan e Gabriella e ao sobrinho Rhamon, pelo incentivo e por acreditarem no meu esforço;

À orientadora Professora Dra. Kátia Cylene Lombardi, pelo incentivo, amizade e confiança no desenvolvimento desse trabalho;

Aos co-orientadores, Professor Dr. Flávio Augusto de Oliveira Garcia e a Professora Dra. Gabriela Schmitz Gomes, pelas correções e dicas valiosas para redação desse trabalho.

À Universidade Estadual do Centro-Oeste, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela oportunidade de participar do mestrado e realizar esse estudo;

Aos meus amigos de república desde os tempos de graduação, e pós-graduação: Rodrigo Cordeiro dos Santos - “Baia”, Felipe Martins de Oliveira – “Pipinho”, Josef J. Maus Preuss, pela amizade, companheirismo e estímulo nos momentos de dificuldade;

Aos meus colegas e amigos do laboratório de Solos da Universidade Estadual do Centro-Oeste: Mahayana Z. Ferronato, Rafael Sozim, Hetyel A. Dolci, Reinaldo S. de Carvalho Jr., Fernanda B. Pereira e Gustavo T. Haberland, pela amizade, pelos momentos de descontração e de risadas e principalmente pelo auxílio nas análises e coletas de dados;

À técnica Odiméia Teixeira, pela amizade e apoio na realização das análises químicas do solo e, ao técnico Paulo Candido da Silva e funcionários do pátio da Universidade Estadual do Centro-Oeste pelo auxílio na instalação e manutenção do experimento;

À Klabin S.A. pela doação das mudas de *Eucalyptus benthamii* e a Prefeitura Municipal de Inácio Martins, PR pela doação dos biocarvão utilizado nesse estudo;

Ao Conselho Nacional de Apoio Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida;

A todos que contribuíram de forma direta e indireta durante toda a minha formação acadêmica.

SUMÁRIO

LISTAS DE FIGURAS.....	i
LISTAS DE TABELAS.....	ii
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	v
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. <i>Objetivo Geral</i>	4
2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4
3. REFERENCIAL TEÓRICO	5
3.1. <i>Terras Pretas de Índio e origem do biocarvão</i>	5
3.2. <i>Eucalyptus benthamii</i>	14
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1. <i>Caracterização da área de estudo</i>	17
4.2. <i>Delineamento experimental</i>	18
4.3. <i>Instalação do experimento</i>	20
4.4. <i>Procedimento amostral</i>	22
4.4.1. <i>Caracterização do biocarvão</i>	22
4.4.2. <i>Coleta de dados</i>	22
4.5. <i>Procedimento estatístico</i>	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1. <i>Efeitos dos tratamentos nos atributos químicos do solo</i>	30
5.2. <i>Efeitos dos tratamentos nos atributos físicos do solo</i>	38
5.3. <i>Efeitos dos tratamentos no crescimento do Eucalyptus benthamii</i>	44
6. CONCLUSÕES.....	52
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização dos sítios de TPI na região Amazônica. Fonte: LIMA <i>et al.</i> , (2002). ...	5
Figura 2. Terra Preta de Índio, ao lado esquerdo e solo adjacente, ao lado direito. Fonte: WOOD & GLASER, (2004).	7
Figura 3. Conceito de pirólise proposto por Lehmann (2007).	10
Figura 4. Precipitações pluviométricas mensais no núcleo regional de Irati, PR. Fonte: SEAB (2011)	17
Figura 5. Representação esquemática da distribuição dos blocos, tratamentos e tamanho da área experimental.....	19
Figura 6. Representação esquemática da parcela experimental.	19
Figura 7. Subsolação da área experimental e linhas de plantio no local do experimento.....	21
Figura 8. Plantio manual das mudas de <i>Eucalyptus benthamii</i> com o auxílio de coveadores.	21
Figura 9. Curva de tendência da relação entre a altura das plantas (cm) aos 90, 120, 150, 180 e 210 dias após o plantio (DAP) e as doses de biocarvão testadas para <i>Eucalyptus benthamii</i>	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Indicadores dos parâmetros bioclimáticos para ocorrência natural do <i>E. benthamii</i>	14
Tabela 2. Descrição dos tratamentos utilizados para a avaliação do solo (T), com as quantidades de biocarvão (C) e adubação (A) utilizados no experimento, seguidos de suas siglas.	18
Tabela 3. Granulometria do biocarvão utilizado para incorporação no solo.....	29
Tabela 4. Análise imediata do biocarvão utilizado no experimento.....	29
Tabela 5. Análise química de solos, por valores médios dos tratamentos: testemunha (T), 10 t.ha ⁻¹ de biocarvão (C10), 20 t.ha ⁻¹ de biocarvão (C20), 40 t.ha ⁻¹ de biocarvão (C40), NPK (A), 10 t.ha ⁻¹ de biocarvão e NPK (C10+A), 20 t.ha ⁻¹ de biocarvão e NPK (C20+A), 40 t.ha ⁻¹ de biocarvão e NPK (C40+A) aos 60 e 105 dias após a aplicação (DAA) do biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.	31
Tabela 6. Análise química de solos, por valores médios dos tratamentos: testemunha (t), 10 t.ha ⁻¹ de biocarvão (C10), 20 t.ha ⁻¹ de biocarvão (C20), 40 t.ha ⁻¹ de biocarvão (C40), NPK (a), 10 t.ha ⁻¹ de biocarvão e NPK (C10+A), 20 t.ha ⁻¹ de biocarvão e NPK (C20+A), 40 t.ha ⁻¹ de biocarvão e NPK (C40+A) aos 150 e 195 dias após a aplicação (DAA) do biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.	32
Tabela 7. Análise química de solos, por valores médios dos tratamentos: testemunha (t), 10 t.ha ⁻¹ de biocarvão (C10), 20 t.ha ⁻¹ de biocarvão (C20), 40 t.ha ⁻¹ de biocarvão (C40), NPK (a), 10 t.ha ⁻¹ de biocarvão e NPK (C10+A), 20 t.ha ⁻¹ de biocarvão e NPK (C20+A), 40 t.ha ⁻¹ de biocarvão e NPK (C40+A) aos 240 dias após a aplicação (DAA) do biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.	33
Tabela 8. Sugestão de parâmetros gerais médios para a interpretação preliminar de resultados de análise de solos. Fonte: MONTE SERRAT <i>et al.</i> , (2006).....	35
Tabela 9. Análise física de solos, por valores médios dos tratamentos: testemunha (T), 10 t.ha ⁻¹ de biocarvão (C10), 20 t.ha ⁻¹ de biocarvão (C20), 40 t.ha ⁻¹ de biocarvão (C40), NPK (A), 10 t.ha ⁻¹ de biocarvão e NPK (C10+A), 20 t.ha ⁻¹ de biocarvão e NPK (C20+A), 40 t.ha ⁻¹ de biocarvão e NPK (C40+A) aos 60 e 105 dias após a aplicação (DAA) do biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.	39
Tabela 10. Análise física de solos, por valores médios dos tratamentos: testemunha (T), 10 t.ha ⁻¹ de biocarvão (C10), 20 t.ha ⁻¹ de biocarvão (C20), 40 t.ha ⁻¹ de biocarvão (C40), NPK (A), 10 t.ha ⁻¹ de biocarvão e NPK (C10+A), 20 t.ha ⁻¹ de biocarvão e NPK (C20+A), 40 t.ha ⁻¹ de biocarvão e NPK (C40+A) aos 150 e 195 dias após a aplicação (DAA) do biocarvão.	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.40

Tabela 11. Análise física de solos, por valores médios dos tratamentos: testemunha (T), 10 t.ha⁻¹ de biocarvão (C10), 20 t.ha⁻¹ de biocarvão (C20), 40 t.ha⁻¹ de biocarvão (C40), NPK (A), 10 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C10+A), 20 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C20+A), 40 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C40+A) aos 240 dias após a aplicação (DAA) do biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.41

Tabela 12. Valores de F das Fontes de Variação aos 60, 90, 120, 180 e 210 dias após o plantio (DAP) para a Altura das plantas (cm) e Diâmetro do colo (mm), (ns) não significativo (*) significativo a 5% p<0,05, (**) significativo a 1% p<0,01.44

Tabela 13. Altura média de plantas de *E. benthamii*, centímetros (cm), aos 60, 90, 120, 180 e 210 dias após o plantio (DAP) para as fontes de variação.45

Tabela 14. Diâmetro do colo de plantas de *E. benthamii*, em milímetros (mm), aos 60, 90, 120, 150, 180 e 210 dias após o plantio (DAP) para as fontes de variação.....46

RESUMO

Thiago Woiciechowski. Avaliação dos atributos de um CAMBISSOLO HÁPLICO e crescimento inicial de *Eucalyptus benthamii* após a aplicação de biocarvão na região de Irati-PR.

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar os atributos químicos e físicos do solo e o crescimento de *Eucalyptus benthamii* após a incorporação de biocarvão no solo. O estudo foi desenvolvido em área experimental do *Campus* da UNICENTRO, localizada em Irati, PR. Foram utilizadas quatro doses de biocarvão, 0, 10, 20 e 40 t.ha⁻¹ com e sem adubação mineral de 340 kg/ha de NPK com 14 kg de N, 48 kg de P₂O₅, 28 Kg de K₂O no formulado 4-14-8, com o delineamento em blocos ao acaso em quatro repetições. Os resultados mostraram que nos atributos químicos, houve diferenças estatísticas aos 60 dias após a incorporação do biocarvão para teores de K⁺ e pH. Aos 195 dias ocorreram diferenças significativas para o pH, Ca⁺², Mg⁺², Al⁺³, acidez potencial, saturação por bases e saturação por alumínio. A quantidade de cinzas na constituição do biocarvão contribuiu para a elevação de bases trocáveis no sítio de troca, ocasionando elevação do pH, redução da acidez e do alumínio tóxico e maior retenção de nutrientes na dose mais alta de biocarvão. Nos atributos físicos, na umidade do solo o tratamento de 40 t.ha⁻¹ diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. A estrutura porosa do biocarvão retém mais água, além de formar agregados com a parte mineral do solo contribuindo para esse aumento. Esse aumento foi observado para um solo argiloso, mostrando que o biocarvão torna-se hidrofílico quando incorporado auxiliando no aumento do teor de água. A altura e diâmetro do colo do *Eucalyptus benthamii* variaram conforme os tratamentos. A partir dos 120 dias após o plantio, o fator biocarvão apresentou diferença estatística. A análise de regressão mostrou uma tendência quadrática em que as doses 20 e 40 t ha⁻¹ foram superiores à testemunha e a dose 10 t ha⁻¹ aos 180 e 210 dias para a altura das plantas. Pode-se dizer que esse fator contribuiu durante o período para o crescimento das plantas aumentando os teores de nutrientes e de água no solo.

Palavras chave: biocarvão, Eucalipto, fertilidade, umidade, cinzas.

ABSTRACT

Thiago Woiciechowski. Evaluation of the attributes of a CAMBISOL and early growth of *Eucalyptus benthamii* after application of Biochar in Irati city, Paraná State, Brazil.

The goal of this research was to evaluate the chemical and physical soil after incorporation of biochar in a *Eucalyptus benthamii* plantation. The study was conducted at the UNICENTRO experimental area, in Irati city, Paraná State, Brazil. We used four doses of biochar: 0, 10, 20 and 40 t ha⁻¹ with and without mineral fertilizer 340 kg/ha of NPK with 14 kg N, 48 kg P₂O₅, 28 K₂O kg formulated in 4-14-8, with a complete randomized block design with four replications. The results showed that in chemical properties, significant differences were found 60 days after the incorporation of biochar for K⁺ contents and pH. At 195 days there were significant differences for pH, Ca⁺², Mg⁺², Al⁺³, potential acidity, base saturation and aluminum saturation. The amount of ash in the formation of biochar contribute to the elevation of exchangeable bases in place of exchange, causing an increase in pH, reducing acidity and aluminum toxicity and greater retention of nutrients at the highest dose. The physical attributes to the soil moisture treatment of 40 t ha⁻¹ differed significantly from other treatments. The porous structure of char retains more water, and form aggregates with the mineral soil contributing to this increase. This increase was observed for a clay soil, showing that biochar becomes hydrophilic when incorporated aiding in increasing the water content. Height and diameter of *Eucalyptus benthamii* varied according treatments. From 120 days after planting, the factor was statistically different biochar. Regression analysis showed a quadratic trend in the doses 20 and 40 t ha⁻¹ were compared to the controls and the dose 10 t ha⁻¹ at 180 and 210 days for the plant height. You could say that this factor contributed during the period for plant growth due to nutrient and water higher.

Keywords: biochar, *Eucalyptus*, fertility, moisture, ash.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é responsável por 40% da produção mundial de carvão vegetal. Em 2009 o país consumiu cerca de 22 milhões de m³ de carvão vegetal (AMS, 2010). Na produção do carvão vegetal, um dos seus subprodutos, o carvão resultante em pó de carvão, de granulometria mais fina, totaliza 10% da produção total e não tem destino definido. Devido à alta produção para suprir o consumo em larga escala de carvão vegetal, gera-se no país um resíduo que não é reaproveitado.

A pesquisa por agentes que possibilitem a melhoria dos aspectos do solo e o favorecimento no desenvolvimento inicial de árvores tornou-se de suma importância para o avanço da ciência florestal. Grande parte dos solos destinados a implantações florestais no Brasil são de baixa fertilidade natural, altamente intemperizados, com acidez elevada, ou então estão em avançados processos de degradação (MOLINA, 2004). A sustentabilidade e a produtividade impulsionam a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias no âmbito agrícola e florestal principalmente para a conservação do solo em nível de matéria orgânica.

Os povoamentos florestais têm sido amplamente estudados como ecossistemas potencialmente aptos a absorver boa parte dos resíduos da exploração florestal, da indústria de transformação da madeira e urbanos, que podem ser utilizados como fertilizantes e também como condicionadores do solo (ANDRADE *et al.*, 2003). A partir disso, cresce o número de pesquisas com resíduos de diversas origens no cenário florestal, uma vez que os mesmos podem proporcionar vários benefícios desde ganhos de produtividade das árvores como melhoria da estrutura, aspectos químicos e microbiológicos do solo (MORO & GONÇALVES, 1995; BELLOTE *et al.*, 2008).

A elevação dos custos para a aquisição de fertilizantes minerais ocasiona a procura por alternativas menos onerosas com intuito de redução dessas despesas (BRANDÃO *et al.*, 2007). Assim a utilização de diversos resíduos garante a redução de custos e garante destino correto para os mesmos. Por isso, várias técnicas e metodologias de destinação e aplicação

desses materiais são propostas com a finalidade de solucionar problemas das fontes geradoras de forma segura e economicamente viável.

Atualmente, estudos com foco no carvão de biomassa florestal incorporado nos solos estão muito em voga. As Terras Pretas de Índio (TPI) são caracterizadas por manchas de solos com coloração escura e alta fertilidade natural em comparação às áreas adjacentes da sua ocorrência na região Amazônica chegando a ter 70 vezes mais carbono (LEHMANN *et al.*, 2009). Essas áreas foram originadas pela ação antrópica através da prática da incorporação no solo de restos de culturas queimadas misturadas com restos de animais mortos e artefatos de cerâmica concentrando elevados teores de carvão pirogênico. Esse carvão pirogênico é resultante da combustão parcial desses materiais o qual originou uma matéria estável resistente à degradação química, térmica e fotoquímica. A estrutura química do carvão confere estabilidade e reatividade de acordo com o tempo de aplicação, e sua estrutura aromática, alifática, hidrofóbica e seus grupos funcionais ácidos, formados através da oxidação biológica lenta, resultam em acumulação e persistência do carbono no solo e retenção e disponibilidade de nutrientes (MADARI *et al.*, 2009). Além disso, as cinzas presentes no biocarvão produzido por combustão incompleta auxiliam no aumento de bases trocáveis na solução do solo, como um corretivo, ocasionando aumento no teor de nutrientes e reduzindo o pH e a acidez nos solos (GLASER *et al.*, 2002).

Medidas de mitigação das emissões de carbono para a atmosfera vêm sendo muito pesquisadas. O uso do biocarvão nos solos torna-se uma dessas medidas. Enquanto crescem, as plantas absorvem gás carbônico para fazer fotossíntese. Esse carbono é incorporado na biomassa de raízes, galhos e folhas e pode voltar para a atmosfera quando a planta morre e se decompõe. Se ele for incorporado no solo de uma maneira que torne a decomposição lenta, o carbono absorvido pela planta ficará preso no solo. Entretanto, essa prática ainda não está esclarecida, há controvérsias que afirmam que a estabilidade do biocarvão não está bem definida nos solos. O comportamento do biocarvão depende da característica de cultura em que ele é usado, da planta do qual foi feito, da forma como foi aplicado no solo, como também do tipo de solo, regime hídrico e, por fim, das quantidades de matéria orgânica do solo.

Na tentativa de copiar esta prática de manejo do solo, o biocarvão vem sendo aplicado em diversas tipologias de solos sob diversas culturas agrícolas. Resultados promissores foram

obtidos, entre eles: melhoria na fertilidade do solo, nos aspectos físicos como também acréscimos na produtividade (GLASER *et al.*, 2002; MEDEIROS JR., 2007; HOSSAIN *et al.*, 2010). A incorporação de biocarvão no solo sob embasamento das TPI está sendo investigada no meio agrícola caracterizando a utilização do biocarvão como um condicionante de solos. Entretanto, em culturas florestais estudos com a incorporação de biocarvão ainda são incipientes despertando interesse sobre esses resultados em diversas espécies florestais.

Em florestas, o estudo da ciclagem de nutrientes minerais via serapilheira é fundamental para o conhecimento do funcionamento do ecossistema. Parte do processo de retorno de matéria orgânica e de nutrientes para o solo florestal se dá através da produção de serapilheira, a qual é considerada o meio mais importante de transferência de elementos essenciais da vegetação para o solo (VITAL *et al.*, 2004). A utilização de resíduos no solo deve beneficiar a ciclagem de nutrientes em plantios de *Eucalyptus*, uma vez que a manutenção da produtividade em florestas plantadas, quando bem manejadas, está intimamente relacionada com a eficiência nos processos de ciclagem de nutrientes (POGGIANI, 1985).

O *Eucalyptus benthamii* é uma espécie promissora em locais onde a ocorrência de geadas severas ocasiona prejuízos às culturas. A espécie tem um crescimento rápido e grande potencial produtivo, do ponto de vista madeireiro em regiões com estas características climáticas. Durante as etapas de implantação florestal, o conhecimento das características do solo é importante uma vez que auxilia com informações sobre a disponibilidade de água no sistema, além das quantidades de nutrientes para que ocorra uma correta recomendação de fertilização favorecendo os fatores de crescimento das espécies do gênero *Eucalyptus*. Assim, a aplicação de biocarvão nos solos, embasado no conceito sobre as TPI, pode auxiliar o desenvolvimento do *E. benthamii* no solo, podendo reter mais água e disponibilizar mais nutrientes, contribuindo para a conservação dos solos, reduzir a quantidade de fertilizantes a ser aplicada e contribuir para o seqüestro de carbono, aumentando o estoque de carbono no solo a longo prazo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar os efeitos da aplicação de biocarvão (resíduos de carvão vegetal) nos atributos químicos e físicos de um CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico e no desenvolvimento inicial de *Eucalyptus benthamii* em condições de campo.

2.2. Objetivos Específicos

- a) Avaliar a utilização das doses 0, 10, 20 e 40 t.ha⁻¹ (base úmida) de biocarvão nos atributos químicos e físicos do solo;
- b) Avaliar o efeito de diversas doses de biocarvão 0, 10, 20 e 40 t.ha⁻¹ (base úmida), com e sem adubação de 340 kg/ha de NPK com 14 kg de N, 48 kg de P₂O₅, 28 Kg de K₂O no formulado 4-14-8, no desenvolvimento inicial em altura e diâmetro do colo de *Eucalyptus benthamii*.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Terras Pretas de Índio e origem do biocarvão

Em toda a região da Bacia Amazônica são encontrados sítios de ocupação humana Pré Colombianos próximos a cursos de água, ocupando várzeas, elevações marginais adjacentes e em terra firme interior em extensões variadas de até vários quilômetros quadrados ao longo dos rios e interflúvios (SMITH, 1980; KÄMPF *et al.*, 2003). Esses sítios são conhecidos como Terra Preta (TP), Terra Preta Arqueológica (TPA) ou Terra Preta de Índios (TPI) (KERN, 1988; KERN, 1996; KERN & KÄMPF, 1989), de origem antropogênica nos quais as últimas pesquisas arqueológicas demonstram que a região abrigou no passado grandes agrupamentos humanos (Figura 1). Nas duas últimas décadas houve grande avanço em pesquisas sobre os solos da TPI (KERN *et al.*, 2009).

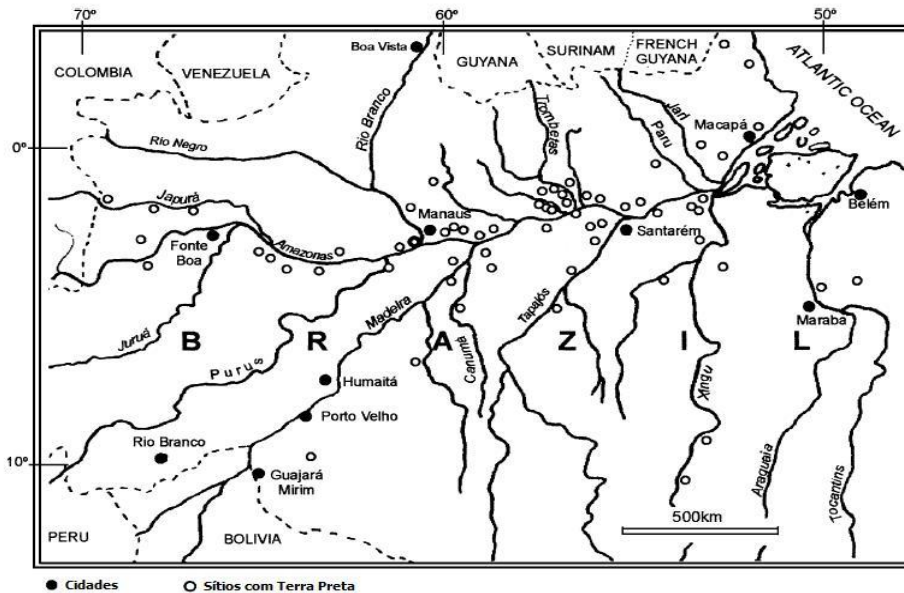


Figura 1. Localização dos sítios de TPI na região Amazônica. Fonte: LIMA *et al.*, (2002).

Existem diversas teorias sobre a gênese das TPI. A prática agrícola dos antigos

habitantes dessas áreas através da deposição no solo de restos de culturas queimadas, além de animais mortos, restos alimentícios e cinzas para fora das comunidades gerou terras muito férteis na atualidade com elevado teor de carbono, altos teores totais de CaO (1819 mg kg⁻¹) e P₂O₅ (4900 mg kg⁻¹), e elevados teores de matéria orgânica (FALCÃO *et al.*, 2001).

Diversas classes de solo ocorrem nas TPI. O maior registro é sobre Latossolos (*Oxisols*) e Argilossolos (*Ultisols*), que juntos recobrem aproximadamente 70% da Amazônia (COSTA *et al.*, 2009). As dimensões dessas áreas podem variar de menos que 1 ha até 3 ha (KERN *et al.*, 2003; COSTA *et al.*, 2009), mas podem ser encontradas ocasionalmente áreas maiores com mais de 100 ha (MORALES, 2010). A formação dos horizontes A antrópico (Au) ou arqueo-antropedogênico das TPI é correspondente a ocupação humana. Esse horizonte apresenta coloração mais escura, podendo variar de preta, cinza muito escuro a bruno escuro, sua textura é mais arenosa e bem estruturada apresentando fragmentos de cerâmica e, ou artefatos líticos, em relação às áreas adjacentes (KERN, 1996; KERN & COSTA, 1997; LIMA *et al.*, 2002; KERN *et al.*, 2003; KÄMPF & KERN, 2005; COSTA *et al.*, 2009). A espessura do horizonte A pode variar de 30-60 cm ou até mesmo chegar a 2 m de profundidade (KERN *et al.*, 2003). A profundidade do solo, no horizonte A, pode estar relacionada como tempo de ocupação humana. De acordo com Smith (1980) estima-se que 1 cm de solo corresponde a 10 anos de ocupação (Figura 2).

Há um predomínio de areia na granulometria das TPI, variando de 630 g.kg⁻¹ até 830 g.kg⁻¹ nas primeiras camadas (COSTA *et al.*, 2009).



Figura 2. Terra Preta de Índio, ao lado esquerdo e solo adjacente, ao lado direito. Fonte: WOOD & GLASER, (2004).

Comparando com solos não antrópicos, em geral, as TPI apresentam uma alta fertilidade, que se deve aos elevados teores de matéria orgânica, cuja produção provém de combustão incompleta da biomassa. Esses solos possuem maiores teores de carbono orgânico, cálcio e magnésio, maior pH e saturação por bases e menor teor de alumínio trocável, propriedades que são responsáveis pela melhor qualidade das Terras Pretas. Assim, embora exista alguma sobreposição entre as Terras Pretas e solos não antrópicos, a fertilidade das Terras Pretas é, em geral, maior que a fertilidade dos solos adjacentes sem horizonte A antrópico (LEHMANN *et al.*, 2002; MADARI *et al.*, 2009). Isso prova que o acréscimo de resíduos orgânicos durante o processo de formação dos solos antropogênicos provocou modificações significativas no solo, tanto no sentido vertical (perfil) quanto no horizontal (areal) (COSTA *et al.*, 2009).

O incremento no valor de pH nos solos antrópicos da Amazônia são atribuídos ao aumento do nível de cátions trocáveis que este material proporcionou ao solo (OGUNTUNDE, 2004). Falcão *et al.*, (2009) avaliaram o pH do solo de dez sítios com TPI através de coletas de amostras de solos da camada superficial localizados em alguns municípios próximos à cidade de Manaus-AM e mostrou valores de pH (H₂O) variando entre

4,32 e 6,61 com média de 5,68. Os valores do pH (KCl) variaram na faixa de 3,77 e 6,01 com média de 4,95. Na camada subsuperficial, os valores de pH (H₂O) variaram entre 4,15 e 6,71 com média de 5,75; e o pH (KCl) variou na faixa de 3,79 e 6,26 com média de 4,97. Segundo Falcão *et al.*, (2003), determinando o pH de amostras de solos de TPI, observaram a seguinte ordem decrescente: pH (H₂O) > pH (CaCl₂) > pH (KCl), o que expõe sobre os tipos de acidez do solo, sendo que o pH em água e CaCl₂ mostram a acidez ativa do solo obtendo-se os íons de H⁺ da solução do solo, e ainda o pH CaCl₂ mostra a acidez potencial obtendo-se H⁺+Al³⁺ adsorvidos no complexo de troca e por fim, o pH KCl mostra a acidez trocável obtendo-se principalmente o Al³⁺ adsorvido. Falcão *et al.*, (2009), em TPI obtiveram uma relação inversa no teor de Al³⁺ trocável com o pH em H₂O. Um conjunto de 100 amostras simples foi analisado obtendo como valor máximo de Al³⁺ para a camada de 0-20 cm, de 1,60 cmol_c kg⁻¹, com média de 0,20 cmol_c kg⁻¹ e valor mínimo de 0,01 cmol_c kg⁻¹. Na camada de 20-40 cm de profundidade, o valor máximo de Al³⁺ foi de 1,90 cmol_c kg⁻¹, com média de 1,15 cmol_c kg⁻¹ e valor mínimo de 0,01 cmol_c kg⁻¹. Esses resultados mostram que, em geral, as TPI não apresentam problemas com toxidez de alumínio.

Em TPI, concentrações elevadas para Ca, Mg, CTC e V% e reduzidos teores de Al e m% foram encontrados em diversas localidades no estado do Amazonas em comparação aos solos adjacentes. O valor da saturação por bases (V%) chegou a 100% no valor máximo, com médio de 95,2% caracterizando, novamente, a alta fertilidade de solos. Sombroek (1966) relata que menos de 2% da CTC potencial é ocupada por K⁺ e Na⁺ em TPI. O baixo teor de K trocável, comparativamente aos altos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis nas TPI, tem, provavelmente, induzido a um desbalanço nutricional nas plantas cultivadas nas TPI, afetando a absorção, principalmente de K⁺, pela inibição competitiva com Ca²⁺ e Mg²⁺ (FALCÃO *et al.*, 2009). Numa avaliação do efeito da fertilidade da Terra Preta no estado nutricional e na produtividade do mamão Havaí (*Carica papaya* L.), encontrou-se o menor valor de potássio nas plantas no tratamento TPI não adubada, com 0,09 mg.kg⁻¹. Provavelmente existiu um desbalanço nutricional muito grande, provocado pelos altos teores de P, Ca, Mg e baixo teor de K, interferindo provavelmente na disponibilidade de Zn e Mn (FALCÃO & BORGES, 2006).

Comparando as características de fertilidade dos solos provenientes da TPI na Amazônia com solos altamente intemperizados, esses apresentaram valores de pH maiores

devido a propriedade que o carvão, através da decomposição da matéria orgânica, tem de aumentar os níveis de bases trocáveis no complexo de troca (CUNHA *et al.*, 2006; COSTA *et al.*, 2009). Costa *et al.*, (2009) afirmam que os processos pedogenéticos agiram intensamente sobre as áreas abandonadas pelo homem pré Colombiano, que continham grande acúmulo de material orgânico, no qual fizeram com que elementos como cálcio, magnésio, fósforo, zinco, manganês e cobre fossem incorporados ao solo. Com o passar do tempo, houve uma complexação da matéria orgânica com íons de cálcio, revestindo as partículas do solo (SOMBROEK, 1966), formando então as Terras Pretas.

A matéria orgânica dos solos (MOS) das TPI já foi muito discutida e pesquisada. Ela detém um papel importante em relação às suas propriedades e funções sobre diversos processos que compõem o sistema solo-planta (MADARI *et al.*, 2009). A concentração encontrada é três vezes maior do que a matéria orgânica do solo em regiões circundantes (SOMBROEK, 1966) e chega a ter 70 vezes mais carbono (LEHMANN *et al.*, 2009). A maior acumulação de carbono orgânico em TPI que nos solos adjacentes indica que, pelo menos parte dessa matéria orgânica possui características que fornecem estabilidade ou pouca acessibilidade a ela no solo. O carvão é o principal componente da matéria orgânica nas TPI e a sua biodegradação no solo é um processo relativamente lento e resulta na mobilização do carbono e na alteração das propriedades de superfície do carvão, aumentando a concentração de sítios quimicamente reativos (MADARI *et al.*, 2009).

Elevados teores de fósforo (P_2O_5) em TPI foram encontrados por Sombroek (1966). Os valores mais altos foram encontrados em textura argilosa, por outro lado o menor valor foi de 100 mg.kg^{-1} quantificado para textura franco-argilosa. Os altos teores de fósforo devem-se ao fato de que o nutriente realiza ligação orgânica com a matéria orgânica ficando disponível, o que não ocorre com ligações inorgânicas (argilomineriais) onde no solo, o nutriente fica indisponível (MADARI *et al.*, 2009).

O carvão é formado por uma estrutura policíclica aromática com alto grau de condensação. A composição e as estruturas químicas do carvão conferem a ele uma grande persistência no solo (BENITES *et al.*, 2005) e por isso, diferencia-se das outras formas de matéria orgânica do solo. Apesar dessa persistência, com o tempo, o carbono pirogênico pode ser parcialmente oxidado, e grupos carboxílicos são produzidos na periferia da estrutura aromática condensada, aumentando a capacidade de troca catiônica (CTC) e a reatividade

desse material nos solos (BENITES *et al.*, 2005; CUNHA, 2005; CUNHA *et al.*, 2009). A alta reatividade (CUNHA 2005, BENITES *et al.*, 2005) e a hidrofobicidade dos carvões dependem, assim como sua estrutura, do material de origem e das condições de sua formação, como a temperatura e tempo de queima, umidade do material vegetal, disponibilidade de oxigênio, entre outros. A área de superfície, porosidade, conteúdo de nutrientes e densidade de carga mudam em relação à temperatura de formação do biocarvão (GUNDALE e DELUCA, 2006; BORNERMANN *et al.*, 2007; MADARI *et al.*, 2009). Os carvões, embora possam ser considerados estáveis no sistema solo, também sofrem biodegradação e transformação como as outras formas da matéria orgânica do solo (MADARI *et al.*, 2009).

Chama-se de pirólise a carbonização da madeira ou qualquer vegetal, a qual é um processo de decomposição sob a ação do calor. O modelo de pirólise proposto por Lehmann (2007) (Figura 3), afirma que a temperatura ótima para obtenção do biocarvão fica em torno de 450-550°C com ausência parcial ou total de oxigênio. A partir dos 100% da biomassa inseridas no sistema, com as temperaturas ótimas e controle do oxigênio, gera-se 50% de bio-óleo que podem ser utilizados para diversos fins. Adicionando ao calor residual N_2 , NO_x , SO_x , CO_2 se obtém 50% de biocarvão.

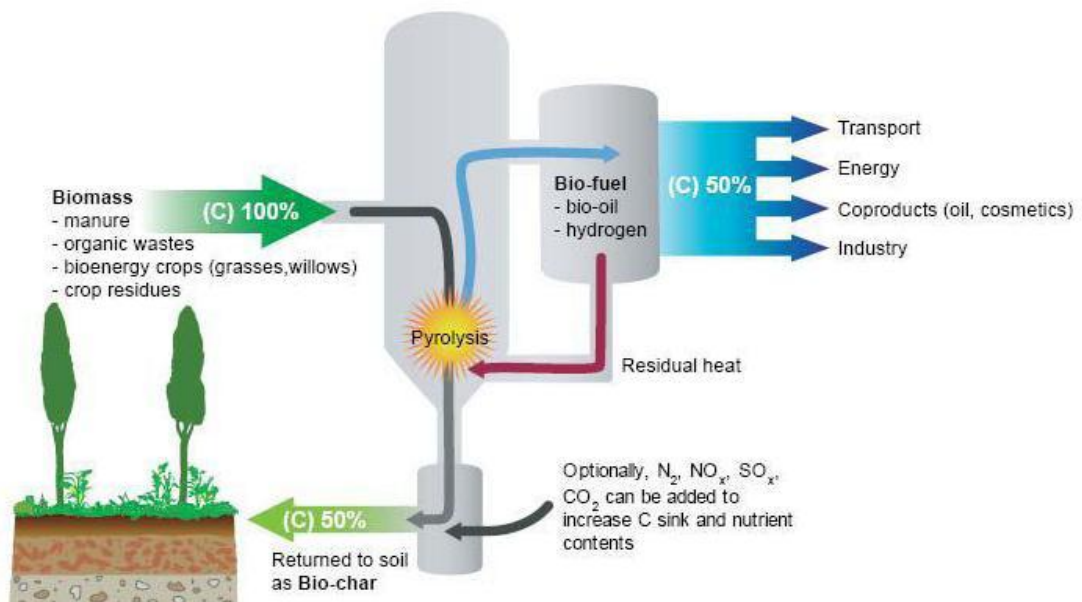


Figura 3. Conceito de pirólise proposto por Lehmann (2007).

Três fatores principais influenciam as propriedades do biocarvão produzido por pirólise: a) natureza e estado físico da matéria orgânica utilizada, b) o ambiente da queima (temperatura, conteúdo de oxigênio, tempo de retenção) e c) adições de compostos contendo N, P, K e S durante o processo de queima. (MORALES, 2010).

O termo *Biochar* foi criado recentemente para descrever a aplicação de matéria orgânica carbonizada ao solo em uma forma deliberada, para melhorar as propriedades do solo ou para armazenar carbono (LEHMANN & JOSEPH, 2009). Os solos de TPI inspiraram a utilização da tecnologia do *biochar*, ou seja, a aplicação de biocarvão no solo.

A aplicação de biocarvão pode ocasionar aumento de 0,4 – 1,0 unidade de pH do solo (MIKAN & ABRAMS, 1995). O aumento no pH associado ao biocarvão para solos ácidos, deve-se ao aumento da concentração de metais alcalinos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}) associados ao resíduo de cinzas contidas nos microporos do biocarvão e, conseqüentemente a redução da concentração de Al^{+3} solúvel (GLASER *et al.*, 2002; STEINER *et al.*, 2007). O aumento do pH do solo e do suprimento de nutrientes (potássio, cálcio, magnésio e fósforo) pelas cinzas foi mencionado por Sanchez *et al.* (1983). O percentual de cinzas que o biocarvão possui, contribuindo para a elevação de bases no solo favorecendo o aumento do pH, apresenta melhor resultado em solos arenosos do que em solos argilosos. Entretanto, Cunha *et al.*, (2009) afirmam que o efeito sobre a fertilidade é curto, uma vez que após alguns cultivos, a disponibilidade de nutrientes diminui, advindo daí a necessidade do uso de fertilizantes para a manutenção da fertilidade do solo.

A aplicação de biocarvão diminuiu a acidez e a concentração de alumínio trocável do solo, entretanto aumentou os teores de cálcio e magnésio disponíveis para a cultura de feijão de corda com biocarvão produzido a partir da casca de mandioca (TOPOLIANTZ *et al.*, 2005). Arruda *et al.*, (2009) encontraram maiores valores para potássio, sódio e magnésio na produção de guaranazeiro sob três fontes de adubação, uma delas através da utilização de finos de biocarvão. A constituição do biocarvão não possuía outros nutrientes senão carbono, oxigênio e hidrogênio, portanto espera-se que o biocarvão poderia estar funcionando com um material com capacidade de troca de cátions, diminuindo a lixiviação e retendo os nutrientes

Até o momento, nenhum estudo avaliou diretamente a influência do biocarvão em transformações de enxofre e sua disponibilidade em solos agrícolas ou florestais. No entanto,

numerosos estudos que envolvem adições de biocarvão sugerem que a adição pode aumentar disponibilidade de enxofre biodisponível, pois a MOS pode influenciar a mineralização e a atividade de oxidação do S (DELUCA *et al.*, 2009).

Liang *et al.*, (2006) citam duas razões para uma elevada eficiência do biocarvão em reter nutrientes, a primeira é atribuída pelo carvão pirogênico apresentar maior densidade de carga negativa por unidade de área superficial e conseqüentemente uma maior densidade de carga; já na segunda acredita-se que o carvão pirogênico apresenta maior superfície específica para a adsorção de cátions, ou então ambas as razões. Uma terceira razão para a retenção de nutrientes indica que os mesmos são presos através de forças físicas nos poros finos dos materiais carbonizados e, ou que a oxidação biológica lenta nas bordas das estruturas aromáticas contribua para a elevação da capacidade de troca de cátions (CTC) (GLASER *et al.*, 2002).

Medeiros Jr. (2007) utilizou finos de biocarvão com adubação potássica na produção de berinjelas em Latossolo Amarelo antrópico da Amazônia. Os resultados da análise foliar mostram que o biocarvão afetou apenas os teores de Ca e Mg. Essa utilização proporcionou uma resposta linear negativa, ou seja, à medida que foram aumentando as doses de biocarvão (6, 8, 10 t.ha⁻¹), os teores de Ca e Mg diminuíram na folha. Além disso, ocorreu um antagonismo entre a adubação potássica e a aplicação de biocarvão causando desequilíbrio entre os nutrientes da solução do solo até o ponto de inibir a absorção de P pela planta.

A adição de metais alcalinos, tanto como sais solúveis e estes associados aos sítios de troca, em solos com biocarvão, ocasionam um efeito significativo na solubilidade do P, especialmente em solos ácidos onde as mudanças sutis no pH pode resultar em substancial redução da precipitação do P com Al⁺³ e Fe⁺³ (DELUCA *et al.*, 2009).

Solos enriquecidos com biocarvão apresentam maior teor de água disponível devido aos níveis mais elevados de matéria orgânica do solo. A capacidade de retenção de água foi 18% maior em solos com biocarvão do que em solos adjacentes em que o biocarvão foi baixo ou ausente (TRYON, 1948 apud GLASER *et al.*, 2002). Existe provavelmente um efeito combinado do biocarvão em si e os níveis mais elevados de matéria orgânica que este promova (GLASER *et al.*, 2002). O tamanho dos poros do biocarvão é relativamente fixo, enquanto que o do solo mineral é determinado principalmente pela textura. Todavia, pode-se

esperar que os aumentos de umidade a partir da adição de biocarvão são maiores em solos arenosos, tem efeito neutro em solos de textura média, e insignificantes na umidade de solos argilosos (SOHI *et al.*, 2009).

Além das alterações no solo devido às características do biocarvão como a elevada área superficial e porosidade resultando na adsorção de nutrientes e retenção de água, há um fornecimento de habitat favorável ao desenvolvimento de microrganismos (GLASER *et al.*, 2002; LEHMANN & RONDON, 2006; WARNOCK *et al.*, 2007).

O efeito do biocarvão sobre a produtividade de plantas depende da quantidade adicionada. Com maiores aplicações de biocarvão há uma progressiva melhora e com taxas menores o crescimento é mais significativo, variando a aplicação de biocarvão de 0,4 a 8 t. ha⁻¹ (LEHMANN & RONDON, 2006). Em muitos casos, a limitação do nitrogênio pode ser a razão para o declínio das produções nas altas taxas de aplicações, pois alta relação C:N interfere na disponibilidade do nutriente através da imobilização pela biomassa microbiana (LEHMANN *et al.*, 2003) embora, existam outros fatores que limitam o crescimento. As leguminosas parecem prosperar sob maiores adições biocarvão, mais do que as espécies de gramíneas, uma vez que podem compensar a limitada disponibilidade de nitrogênio pela fixação biológica (LEHMANN & RONDON, 2006).

Hossain *et al.*, (2010) avaliaram o uso de biocarvão e fertilização para tomateiro cereja. Além dos resultados já conhecidos pelos pesquisadores, como melhoria na aeração e aumento de nutrientes, o tratamento biocarvão (10 t ha⁻¹) mais fertilização (120, 70 e 80 kg.ha⁻¹ de N, P, K respectivamente) aumentou em 64% a produção de tomate. Medeiros Jr. (2007) concluiu que a interação da adubação potássica com finos de biocarvão, na dose 250 kg.ha⁻¹ de KCl combinados com 10 t ha⁻¹ de finos de biocarvão, resultaram em maiores retornos financeiros para a produção de berinjelas.

Glaser *et al.*, (2002), testando a utilização de biocarvão, fertilizante e matéria orgânica em diversas dosagens no crescimento de Aveia (*Avena sativa*) em duas safras sob as condições tropicais úmidas, mostraram que os tratamentos com biocarvão misturado com matéria orgânica foram significativos na primeira estação, já na segunda os tratamentos fertilizados sem biocarvão foram maiores. Isso indica que as adições de biocarvão têm efeitos positivos sobre o crescimento em curto prazo, embora seja claro a partir dessas experiências

que o biocarvão por si só não é capaz de manter altas produtividades.

3.2. *Eucalyptus benthamii*

Os plantios de eucalipto no Brasil ocupam aproximadamente 4,5 milhões de hectares, constituindo a essência florestal mais plantada no país que, somente em 2009, cresceu 4% em relação ao ano anterior (ABRAF, 2010).

A espécie *E. benthamii* é originária da Austrália, localizando-se em áreas limitadas ao oeste da cidade de Sydney em planícies do rio Neplan, ocorrendo em solos férteis das partes planas de deposição de rios em uma área de 100 km de comprimento por 40 km de largura com latitude aproximada de 34°S e altitudes inferiores a 100 m onde a temperatura média máxima é 26°C e a temperatura média mínima é 4°C com ocorrência de geadas leves. A precipitação anual é de 1100 mm com picos moderados no verão e outono (HIGA, 1999). É considerada como vulnerável ao desaparecimento na região de ocorrência natural, restando apenas quatro populações (BUTCHER *et al.*, 2005). Jovanovic & Booth (2002) citado por Paludzyszyn Filho *et al.*, (2006) descrevem exigências climáticas da espécie em função da região original (Tabela 1).

Tabela 1. Indicadores dos parâmetros bioclimáticos para ocorrência natural do *E. benthamii*

Parâmetros bioclimáticos	Mínimo	Máximo
Precipitação média anual	730 mm	1.010 mm
Temperatura média das máximas do mês mais quente	26°C	30°C
Temperatura média das mínimas do mês mais frio	1°C	3°C
Temperatura média anual	13°C	17°C
Número de meses sem chuvas	0	5
Regime de chuvas	Regular no verão	

Fonte: PALUDZYSZYN FILHO *et al.*, (2006).

O *E. benthamii* foi introduzido no Brasil pela Embrapa/Florestas, tendo em vista que outras espécies do gênero têm sido usadas em extensos programas de reflorestamento e que o *E. benthamii* apresenta boa resistência a geadas e grande probabilidade de ser utilizado para fins industriais (NISGOSKI *et al.*, 1998). Em 1988 foi plantada, na Embrapa/Florestas uma mistura de sementes da espécie, onde atualmente encontra-se a Área de coleta de sementes com matrizes marcadas (HIGA & PEREIRA, 2003). Na Austrália, este eucalipto prefere planícies de rios ou ladeiras brandas de países adjacentes. Os solos são moderadamente aluviais, com qualidade agrícola, frequentemente com argila numa profundidade de 0,5 a 1 m.

O *E. benthamii* é bastante resistente ao frio sendo indicado para plantios em regiões com temperaturas mínimas absolutas de até -10° C, sob condições de aclimação prévia por gradual abaixamento de temperatura na estação fria (PALUDZYSZYN FILHO *et al.*, 2006) tolerando até 25 geadas anuais (FAO, 1981).

Segundo a empresa PLANAPEC Ltda., (2011) o *E. benthamii* plantado em Colombo, PR, despertou desde cedo grande interesse devido principalmente a sua resistência elevada às geadas, mas também pelo desenvolvimento rápido e aspecto sadio de suas plantas. Ao contrário de *Eucalyptus dunnii*, que florescia apenas com a idade de quinze anos, e mesmo assim, alternando anos com e sem floração, o *E. benthamii* floresceu aos seis anos de idade e sem acentuadas alternâncias de intensa e baixa floração, nos anos seguintes.

A comparação entre plantios de *E. benthamii* e de *E. dunnii*, em um gradiente altitudinal, possibilitou constatar a maior tolerância às geadas do primeiro. Este foi pouco prejudicado por geadas severas (-6° C), enquanto o *E. dunnii* teve sua copa inteiramente danificada e foi necessário recepar as plantas para a retomada do crescimento. Ao final da rotação, após seis anos o *E. benthamii* apresentou produtividade 30 % mais elevada que o *E. dunnii* (PLANAPEC, 2011). A espécie tem mostrado bom crescimento e resistência a geadas em plantios experimentais com 2 e 3 anos no estado de Santa Catarina (HIGA & PEREIRA, 2003). Os primeiros resultados de produtividade foram bastante satisfatórios, apresentando, na maioria dos casos, incremento médio anual (IMA) superior a 45 m³ segundo a Embrapa/Florestas.

Em Colombo, PR, árvores com 8 anos de idade, possuíam altura média de 21,7 m e

DAP médio de 18,2 cm. (EMBRAPA, 1988; HIGA & PEREIRA, 2003). Higa & Carvalho (1990) observaram na região de Dois Vizinhos, PR, sobrevivência de 70%, altura média de 16 m e DAP médio de 15 cm aos 45 meses de idade. Higa & Pereira, (2003) ainda citam que a espécie *E. benthamii*, referente à qualidade da madeira, detém potenciais para celulose, lenha e carvão.

A inexistência de estudos com o objetivo de avaliar a fertilidade do solo e a nutrição de essências florestais devido à aplicação do biocarvão no solo incentiva a busca pela melhor compreensão desse assunto. Os resultados nos aspectos de fertilidade e crescimento em ecossistemas florestais são desconhecidos e, certamente os futuros trabalhos desenvolvidos dentro desse contexto contribuirão para o avanço da ciência florestal e melhor compreensão desse assunto.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido nas dependências da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), *Campus* de Irati, localizada no centro sul do Paraná no paralelo 25° 27' 56" de latitude Sul com intersecção com o meridiano 50° 37' 51" de longitude Oeste. O clima é classificado, segundo KÖPPEN, (1948), como Cfb (Subtropical Úmido Mesotérmico) caracterizado por um clima temperado úmido com verão temperado e ocorrências de geadas severas e freqüentes, não apresentando estação seca. A topografia do *Campus* é do tipo ondulada e apresenta desníveis entre 820 e 890 m. As médias mensais de precipitação pluviométrica e da umidade relativa do ar são de 193,97 mm e 79,58%, respectivamente. As precipitações mensais durante a instalação e coleta de dados do experimento são mostradas na Figura 4. A área de execução do experimento possui um histórico de uso agrícola, entretanto tratava-se de um período de pousio. O solo foi classificado como sendo um CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico (CXvd) de textura argilosa a muito argilosa, com horizonte A moderado e relevo ondulado a forte ondulado, segundo a EMBRAPA (1999).

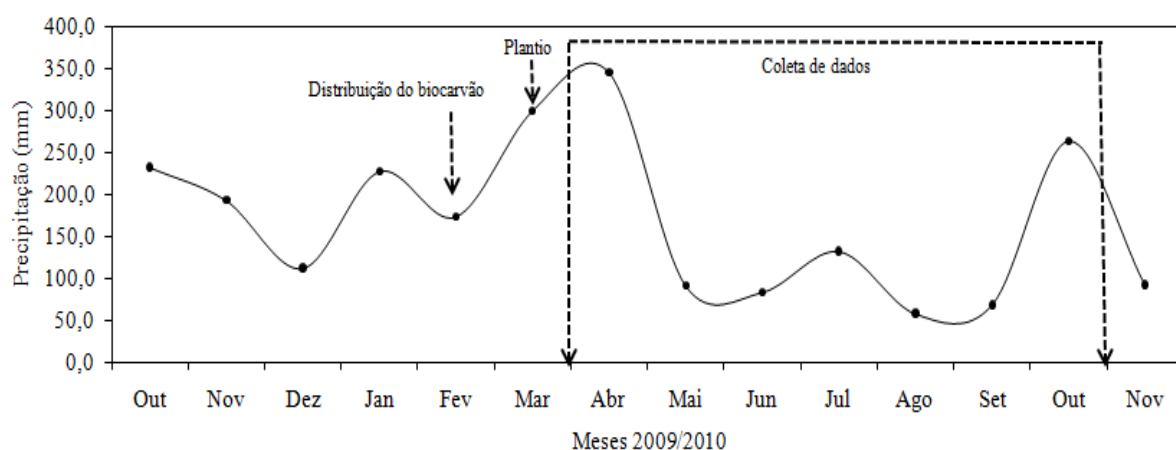


Figura 4. Precipitações pluviométricas mensais no núcleo regional de Irati, PR. Fonte: SEAB (2011)

4.2. Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso (DBA) com quatro repetições para os atributos químicos e físicos do solo. Realizaram-se oito tratamentos sendo: 0, 10, 20 e 40 t. ha⁻¹ de biocarvão com 5% de umidade e adubação adicional de 340 kg/ha de NPK com 14 kg de N, 48 kg de P₂O₅, 28 Kg de K₂O no formulado 4-14-8; e 0, 10, 20 e 40 t. ha⁻¹ de biocarvão com 5% de umidade sem adubação adicional, sendo que o tratamento testemunha, caracterizado somente pelo solo, não recebeu biocarvão e nem adubação. Para as avaliações de crescimento foi utilizado um esquema fatorial (4x2), admitindo efeito de dois fatores diferentes: biocarvão e adubo e a interação entre eles.

Os tratamentos, suas quantidades e siglas são apresentadas na Tabela 2. A representação esquemática dos tratamentos nos blocos pode ser vista pela Figura 5.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos utilizados para a avaliação do solo (T), com as quantidades de biocarvão (C) e adubação (A) utilizados no experimento, seguidos de suas siglas.

Tratamento	Adubação NPK (g.planta ⁻¹)	Biocarvão (t. ha ⁻¹)	Siglas
T1	0	0	T
T2	0	10	C10
T3	0	20	C20
T4	0	40	C40
T5	200	0	A
T6	200	10	C10+A
T7	200	20	C20+A
T8	200	40	C40+A

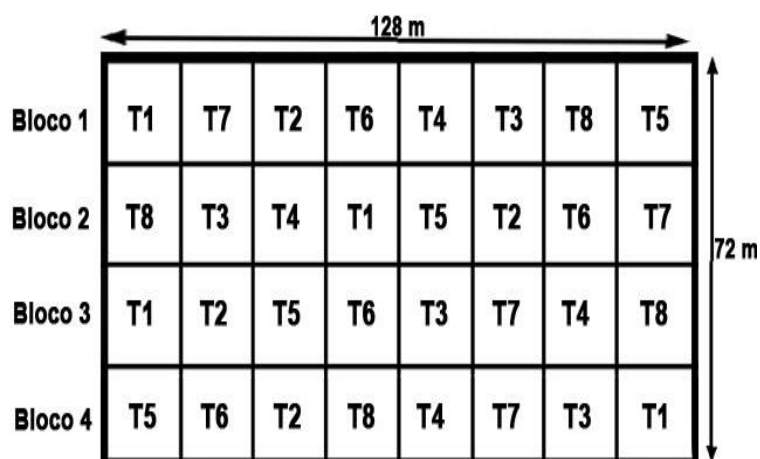


Figura 5. Representação esquemática da distribuição dos blocos, tratamentos e tamanho da área experimental.

Cada parcela foi constituída por 48 plantas totalizando 1.536 plantas. Foram descontadas linhas de bordadura simples, resultando em 24 plantas na área útil. Como o espaçamento adotado foi o de 3 metros entre linhas e 2 metros entre as plantas, o tamanho de cada parcela foi de 18 metros entre linhas e 16 metros entre plantas, com 288 m² de área total e área útil de 12 metros entre linha e 12 metros entre plantas, totalizando 144 m² (Figura 6).

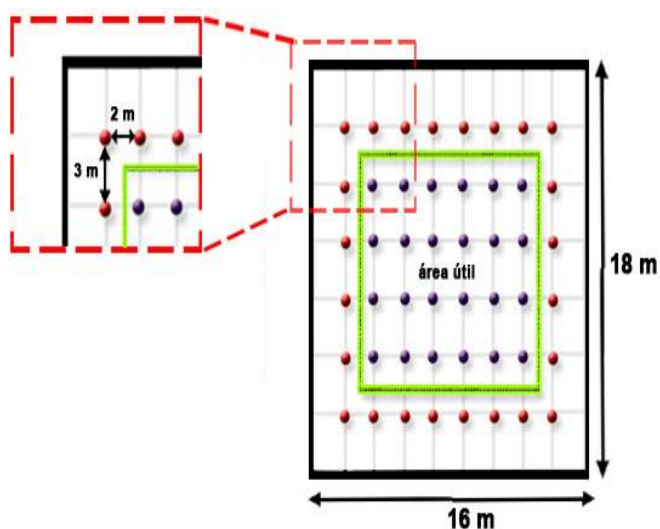


Figura 6. Representação esquemática da parcela experimental.

4.3. Instalação do experimento

A primeira etapa no preparo da área foi a de limpeza com roçada manual e posteriormente, a roçada mecanizada. O controle de formigas foi realizado sistematicamente com o uso de micro porta-iscas de 10g, a base de fipronil, aplicados em área de 25 m² em pré-plantio e com repasse de combates a focos no pós-plantio.

Foi realizada a calagem com 2,5 t.ha⁻¹ de calcário dolomítico (SILVEIRA *et al.*, 2001), com PRNT de 85%, o qual foi distribuído a lanço com calcareadeira e incorporado com grade leve a 10 cm de profundidade.

As parcelas foram demarcadas e os biocarvão distribuídos a lanço no mês de fevereiro de 2010 totalizando 16,1 t. O biocarvão foi recebido por doação de um assentamento localizado em Inácio Martins, PR. Essa quantidade fazia parte de uma pilha de resíduos acumulados, o que contribuiu para o desconhecimento da procedência da matéria prima e do processo de carbonização utilizada.

A quantidade de biocarvão aplicado em cada da parcela foi mensurado em um balde de 20 L sem desconsiderar a umidade a campo. Cada balde possuiu 9 kg de biocarvão, obtidos com a calibragem de três medidas, obtendo-se uma média. O biocarvão foi distribuído com auxílio de um carrinho de mão e espalhados com pá em área total da parcela. Os carrinhos comportavam três baldes totalizando cerca de 27 kg de biocarvão cada um.

Após a distribuição do biocarvão ocorreu a incorporação com grade leve a 10 cm de profundidade. As linhas de plantio foram realizadas com subsolador (*ripper*) (Figura 7).



Figura 7. Subsolação da área experimental e linhas de plantio no local do experimento.

As mudas clonais de *Eucalyptus benthamii* foram recebidas por doação da empresa Klabin S/A. O plantio foi manual com o auxílio de coveadores do tipo “chuchos” para a abertura das covas no mês de março de 2010 (Figura 8).



Figura 8. Plantio manual das mudas de *Eucalyptus benthamii* com o auxílio de coveadores.

Uma semana após o plantio as mudas receberam adubação inicial nos tratamentos equivalentes. Foram aplicados 340 kg/ha do formulado NPK (4-14-8), que totalizam 200 g por planta, em covetas laterais distantes 10 cm das mudas. Foram replantadas 250 mudas totalizando aproximadamente 16% de falhas. Para o controle da mato-competição, foram feitas roçadas manuais, coroamento das plantas e aplicação herbicida seletivo a base de glifosato.

4.4. Procedimento amostral

4.4.1. Caracterização do biocarvão

Foram coletadas sete amostras dos resíduos de biocarvão antes da incorporação para a realização da granulometria e análise imediata. Os resíduos de biocarvão foram secos a temperatura ambiente até obtenção de peso constante. Para a avaliação granulométrica, 100g de cada amostra foram passadas em peneiras de malha 6,30; 4,00; 2,00; 0,212 e 0,053 mm. Cada fração obtida foi pesada e os resultados médios calculados em porcentagem. A análise imediata consistiu na determinação dos teores de voláteis, cinzas e carbono fixo. Foi usada a norma ASTM D-1762-84 adaptada por Oliveira *et al.*, 1982. Realizou-se, também, o teor de umidade do biocarvão.

4.4.2. Coleta de dados

As coletas de dados para as análises físicas e químicas do solo foram realizadas num intervalo de 45 em 45 dias sendo em 60, 105, 150, 195 e 240 dias após a incorporação do biocarvão.

Para as análises químicas do solo, amostras deformadas foram coletadas na profundidade de 0-20 cm com auxílio de um trado holandês em cinco pontos amostrais dentro da área útil de cada parcela. Essas amostras foram homogeneizadas e destas separados aproximadamente 500 g de solo que foram encaminhados para o Laboratório de Análises de Rotina de Solos da UNICENTRO em Irati, PR. No laboratório, as amostras foram secas em estufa a 60°C, posteriormente trituradas e passadas em peneiras de malha 2 mm tornando-as Terra Fina Seca em Estufa (TFSE) para as análises de rotina.

Para análise física foi coletada uma amostra indeformada no centro da área útil de cada parcela experimental a 10 cm de profundidade com o auxílio do anel volumétrico, que foi condicionado dentro de uma caixa para evitar a perda de umidade até a sua pesagem em laboratório.

A mensuração das árvores foi mensal, sendo realizado aos 60, 90, 120, 150, 180 e 210 dias após o plantio (3 meses após a incorporação do biocarvão).

4.4.2.1. Análises químicas do solo

Foram determinados pH, matéria orgânica, acidez potencial ($H+Al^{3+}$), teores de fósforo (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), alumínio (Al^{3+}), sódio (Na^+) e com isso determinados valores de CTC a $pH = 7,0$, saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) seguindo a metodologia da Embrapa (1997).

A determinação do pH foi feita em solução de $CaCl_2$ 0,01M por potenciometria (pHmetro), determinados na suspensão do solo após agitação e decantação. Após a leitura foram adicionados 5 mL da solução SMP para a determinação do pH SMP em potenciometria (pHmetro) determinado na suspensão do solo após agitação e decantação. Com as leituras do pH SMP obteve-se o valor da acidez potencial ($H+Al$) tabelado.

O método utilizado para quantificar a matéria orgânica do solo foi o *Walkley-Black* (dicromato de potássio), com oxidação pelo dicromato de potássio 1 mol L^{-1} em meio sulfúrico e titulação pelo sulfato ferroso.

A extração de P foi realizada utilizando-se solução extratora de Mehlich (HCl e H₂SO₄). Da solução extratora foram retiradas três alíquotas para seguir os procedimentos das determinações. A leitura das amostras foi realizada no espectrofotômetro de ultravioleta (UV-VIS) da marca Femto, modelo 600. O procedimento para a extração de K⁺ e Na⁺ é o mesmo realizado para o fósforo, entretanto a leitura das amostras foi realizada no fotômetro de chamas da marca Analyser, modelo 910M.

A extração de Ca²⁺, Ca²⁺+Mg²⁺ e Al³⁺ foi realizada com a solução extratora de KCl 1N. Da solução extratora foram retiradas três alíquotas para seguir os procedimentos das determinações. Para a determinação do Ca²⁺ foi adicionado 3 mL da solução de KOH 10% e uma pitada do indicador Murexida, titulando-se com a solução de EDTA 0,0125 Mol L⁻¹. Para a determinação de Ca²⁺+Mg²⁺ foram adicionados 4 mL da solução coquetel de hidróxido de amônio e cloreto de amônio. Depois foram adicionados 5 gotas do indicador negro de eriocromo, titulando-se com solução de EDTA 0,0125 Mol L⁻¹ e a determinação de Mg²⁺ foi feita a partir da diferença entre a determinação Ca²⁺ e de Ca²⁺+Mg²⁺. E por fim, para o Al foram adicionados 5 gotas do indicador Azul de Bromotimol e titulado com a solução padrão de NaOH 0,025 N.

A partir dos teores trocáveis de Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ e H + Al³⁺, foi possível calcular o valor da soma das bases (SB) pela fórmula: $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+}$ em cmol_c/dm³. A CTC potencial foi determinada por meio da fórmula: $CTC \text{ potencial} = SB + H + Al^{3+}$ e o resultado também é em cmol_c / dm³.

A saturação por bases, que corresponde a porcentagem da CTC potencial que é ocupada pelos cátions básicos (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺), foi calculada pela fórmula: $V\% = SB * 100 / CTC \text{ potencial}$. A saturação por alumínio, que corresponde à porcentagem da CTC efetiva que é ocupada pelo cátion Al³⁺, foi calculada pela fórmula: $m\% = Al * 100 / CTC \text{ efetiva}$. A CTC efetiva foi determinada por meio da fórmula: $CTC \text{ efetiva} = SB + Al^{3+}$ expressa em cmol_c/dm³.

4.4.2.2. Análises físicas do solo

As análises físicas seguiram a metodologia descrita pela Embrapa (1997). Para os atributos físicos foram determinados a umidade gravimétrica (Ug), densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), porosidade total (Pt) e granulometria do solo.

Umidade gravimétrica do solo (Ug)

A umidade gravimétrica (Ug) do solo estima a capacidade que determinado solo tem de armazenar água. É obtida através da relação da quantidade de massa de água do solo e da de massa seca total do solo. Após a coleta das amostras indeformadas com o auxílio de anéis volumétricos (anel de Kopeck), as amostras foram pesadas, obtendo a massa do solo úmido (MSU) e transferidas para estufa a 105-110°C, deixando nesta condição durante 24 horas. As amostras foram retiradas da estufa, colocadas em dessecador para esfriar e por fim, pesadas novamente, obtendo a massa de solo seco (MSS). A partir desses dados pode-se calcular a umidade gravimétrica através da equação:

$$Ug = \frac{(MSU - MSS)}{MSS} * 100$$

Onde: Ug = umidade gravimétrica (%); MSU = peso da amostra úmida (g); MSS = peso da amostra seca (g).

Densidade do solo (Ds)

A partir do método do anel volumétrico, para obtenção da umidade gravimétrica do solo, foi a determinado a MSS. Com a MSS e o volume do anel volumétrico (Vt), pôde-se determinar a densidade do solo (Ds) de acordo com a equação:

$$D_s = \frac{MSS}{V_t} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Densidade de partículas (Dp)

A densidade de partículas (Dp) refere-se à densidade real do solo, ou seja, é a relação da massa das partículas sobre o espaço ocupado pelas mesmas. O método para a obtenção da densidade de partículas (Dp) consiste em pesar 20 g de Terra Fina Seca em Estufa (TFSE) e transferir para um balão volumétrico de 50 mL, usando um funil. Feito isso, foi colocado em uma bureta de 50 mL álcool absoluto (álcool etílico) e escorrido o álcool da bureta para o balão até mais ou menos a metade do volume do balão. Foi agitado o conteúdo dentro do balão para o completo umedecimento das partículas, evitando a permanência de bolhas de ar. O restante do álcool foi escorrido até completar o volume do balão tomando cuidado para não deixar partículas acima da linha de aferição do balão. Foi realizada a leitura e anotado o volume gasto de álcool.

Prosseguiu-se com o cálculo do volume das partículas ou sólidos (Vs), pela diferença: 50mL – volume gasto de álcool, com base na relação: 1mL = 1cm³. Assim, foi calculada a densidade de partículas (Dp) através da equação:

$$D_p = \frac{MSS}{V_s} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Porosidade total do solo (Pt)

A partir dos valores de densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp) pode-se calcular a porosidade do solo em porcentagem através da equação:

$$\text{Porosidade Total} = 100 * \left(\frac{D_p - D_s}{D_p} \right)$$

Granulometria

No procedimento para análise granulométrica do solo obteve-se as quantidades de areia fina, areia grossa, silte e argila. Foram iniciados com a pesagem de 20g de TFSE que foram transferidas para frascos de 600 mL com o auxílio de um funil. Depois disso, adicionaram-se 10 mL de solução normal de hidróxido de sódio e 100 mL de água bi-deionizada. Os frascos foram colocados em agitador mecânico e agitados por uma noite.

No dia seguinte foi encaixado um funil e o par de peneiras de malha de 212 μm e 53 μm respectivamente em uma proveta de 1000 mL para passar a solução. Foi realizada a lavagem das areias com água bi-deionizada. O material que ficou retido na 1ª peneira foi transferido para cápsula de porcelana e seco em estufa à 105°C, após a secagem o material foi pesado, sendo este denominado areia grossa. Com o material da segunda peneira foi realizado o mesmo procedimento, sendo este denominado areia fina.

A proveta foi completada até 1000 mL com água bi-deionizada e agitada por 2 minutos verificando-se a temperatura dessa solução, e conforme valor tabelado aguardou-se a decantação. Após, completado o tempo, foi colhida uma alíquota de 25 mL nos 5 cm sobrenadantes, que foi transferida para capsula de porcelana, seca em estufa à 105°C e pesado. Obteve-se assim, a quantidade de argila. Por diferença, obteve-se o valor de silte.

Os valores para areia grossa e fina foram obtidos na balança descontando o peso do recipiente e foi multiplicado por 50, para que o peso possa ser expresso em g/dm^3 de solo. No cálculo da argila o valor obtido na balança, sem o peso do recipiente foi multiplicado por 2000, sendo esta a quantidade de argila expressa em gramas por dm^3 de solo. A quantificação do silte é obtida pela diferença: $\text{silte} = 1000\text{g} - (\text{valor da areia grossa} + \text{valor da areia fina} + \text{valor da argila})$.

4.4.2.3. Análises do crescimento das plantas

Foram mensurados a altura e o diâmetro do colo das plantas. A altura das plantas foi medida com régua graduada e trena nas idades 60, 90, 120, 150, 180 e 210 dias após o plantio.

Foram mensuradas e anotadas as alturas das 24 plantas úteis de cada uma das parcelas, e calculado suas médias aritméticas.

O diâmetro do colo das plantas foi medido com paquímetro digital rente ao solo nas idades 60, 90, 120, 150, 180 e 210 dias após o plantio. Foram mensurados e anotados os diâmetros de colo das 24 plantas úteis de cada uma das parcelas, e calculado suas médias aritméticas.

4.5. Procedimento estatístico

A análise estatística foi realizada com o auxílio do software ASSISTAT 7.6 beta (SILVA & AZEVEDO, 2002), usando-se o teste de Tukey a 1% de probabilidade. Utilizou-se a análise de regressão quando as doses aplicadas de biocarvão foram significativas nas avaliações periódicas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Características do biocarvão

O biocarvão utilizado no experimento caracterizou-se por apresentar granulometria inferior a 2 mm, sendo esses superiores a 70% (Tabela 3).

Tabela 3. Granulometria do biocarvão utilizado para incorporação no solo.

Malha da peneira	Quantidade retida (%)
6,30 mm	17%
4,00 mm	13,5%
2,00 mm	24%
0,212 mm	42%
0,053 mm	3,5%

Com relação aos teores de voláteis, cinzas e carbono fixo, o biocarvão apresentou um teor de cinzas relativamente alto. Dependendo da parte do vegetal que foi carbonizado esse valor pode apresentar quantidades diferentes de nutrientes na forma óxidos com elementos de caráter alcalino (Tabela 4).

Tabela 4. Análise imediata do biocarvão utilizado no experimento.

Umidade (%)	Materiais Voláteis (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)
5	25,8	26,5	55,1

5.2. Características do solo

O solo em estudo apresentou características inerentes ao histórico do local, e também características devido à aplicação da calagem.

Após a correção do solo, o mesmo apresentou as seguintes características: pH muito baixo; alto teor de matéria orgânica; teores médio para Ca, muito alto para Mg e alto para K; teores de Al e acidez potencial altos caracterizando um alto poder tampão desses solos; CTC potencial alta; saturação por bases (V%) baixa; e P extraível alto. Os valores de Na são bem parecidos com os de K e essas altas quantidades podem ter relação com o material de origem desses solos. Quanto à textura, o solo foi classificado com textura argilosa a muito argilosa.

5.3. Efeitos dos tratamentos nos atributos químicos do solo

Observou-se a melhoria em alguns atributos químicos do solo, após a aplicação do biocarvão, sendo que houve variações em relação ao atributo avaliado e o tempo, dado em dias, após a aplicação do tratamento.

Na avaliação realizada aos 60 dias após a aplicação (DAA), os tratamentos C40 e C40+A, demonstraram proporcionar um melhor condicionamento do solo em relação a K^+ , havendo aumento dos valores de pH para o tratamento C40+A. Os demais parâmetros avaliados não tiveram diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 5, 6 e 7).

Tabela 5. Análise química de solos, por valores médios dos tratamentos: testemunha (T), 10 t.ha⁻¹ de biocarvão (C10), 20 t.ha⁻¹ de biocarvão (C20), 40 t.ha⁻¹ de biocarvão (C40), NPK (A), 10 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C10+A), 20 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C20+A), 40 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C40+A) aos 60 e 105 dias após a aplicação (DAA) do biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Tratamentos	pH (CaCl ₂)	M.O. (g/dm ³)	P (mg/dm ³)	K ⁺ -----	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺ (cmol _c /dm ³)	H + Al ³⁺ -----	Na ⁺	CTC pot. -----	V (%)	m (%)
60 dias (DAA)												
T	3,98 b	36,5	7,67	0,29 b	3,0 ab	2,2	6,1 ab	15,6 ab	0,21	21,3	27 ab	51 ab
C 10	3,98 b	33,8	8,90	0,29 b	2,8 b	2,3	6,2 b	17,3 b	0,20	22,8	24 b	53 b
C20	4,25 ab	40,7	13,41	0,36 ab	4,5 ab	3,2	3,7 ab	12,8 ab	0,27	21,2	40 ab	31 ab
C40	4,15 ab	36,2	36,61	0,46 a	4,1 ab	2,7	4,3 ab	14,9 ab	0,28	22,5	34 ab	36 ab
A	4,11 ab	36,7	9,80	0,44 ab	3,8 ab	2,7	4,6 ab	15,3 ab	0,27	22,6	32 ab	39 ab
C10+A	4,25 ab	37,2	13,10	0,38 ab	4,3 ab	2,9	3,5 ab	12,9 ab	0,19	20,6	38 ab	31 ab
C20+A	4,24 ab	40,4	17,45	0,49 a	4,9 ab	2,5	3,9 ab	14,0 ab	0,28	22,1	37 ab	33 ab
C40+A	4,38 a	38,0	16,64	0,51 a	5,6 a	3,7	2,3 a	11,2 a	0,22	21,2	47 a	20 a
Valor F	2,79(*)	0,95(ns)	1,94(ns)	2,77(*)	2,83(*)	1,78(ns)	2,56(*)	3,17(*)	2,02(ns)	1,84(ns)	2,89(*)	2,69(*)
CV%	3,98	12,36	85,93	25,93	26,89	26,1	37,54	15,24	23,75	5,5	24,45	36,44
105 dias (DAA)												
T	3,93 ab	36,5	4,19	0,36 b	3,2	2,8	5,2	14,7	0,34	21,4	31	44
C 10	4,14 ab	32,5	5,92	0,41 ab	3,0	2,6	5,6	14,6	0,36	21,3	30	50
C20	4,08 ab	35,0	5,79	0,58 ab	4,1	3,0	4,2	13,9	0,40	20,9	37	47
C40	4,21 a	35,7	7,14	0,63 a	3,7	3,3	4,5	13,5	0,39	21,3	38	34
A	3,69 ab	37,7	5,09	0,42 ab	2,9	2,4	6,1	15,3	0,32	22,0	28	50
C10+A	3,68 b	30,3	10,22	0,42 ab	3,1	2,1	6,0	15,3	0,31	21,4	28	42
C20+A	3,92 ab	36,3	4,69	0,45 ab	3,7	2,8	5,2	14,1	0,31	21,5	34	36
C40+A	4,05 ab	35,5	6,21	0,48 ab	4,3	3,1	4,2	11,6	0,36	19,7	41	33
Valor F	3,17(*)	0,72(ns)	0,50(ns)	2,91(*)	1,10(ns)	1,11(ns)	0,88(ns)	2,28(ns)	1,12(ns)	1,27(ns)	1,63(ns)	1,06(ns)
CV%	5,59	16,15	86,68	22,88	29,61	26,04	31,11	11,38	19,34	5,26	22,78	31,54

Tabela 6. Análise química de solos, por valores médios dos tratamentos: testemunha (t), 10 t.ha⁻¹ de biocarvão (C10), 20 t.ha⁻¹ de biocarvão (C20), 40 t.ha⁻¹ de biocarvão (C40), NPK (a), 10 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C10+A), 20 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C20+A), 40 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C40+A) aos 150 e 195 dias após a aplicação (DAA) do biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Tratamentos/Tempo	pH	M.O.	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al ³⁺	Na ⁺	CTC pot.	V	m	
	(CaCl ₂)	(g/dm ³)	(mg/dm ³)	-----				(cmol _c /dm ³)		-----		(%)	(%)
150 dias (DAA)													
T	3,89	44,0	5,54	0,52	2,8	2,5	6,1	16,7	0,31	22,9	27	50	
C 10	4,07	44,9	13,61	0,63	4,5	3,3	4,8	14,4	0,41	23,2	38	36	
C20	4,30	42,4	7,73	0,60	4,8	2,9	3,9	13,4	0,44	22,2	39	32	
C40	4,27	44,4	12,51	0,59	4,9	3,3	4,2	12,7	0,38	21,8	42	32	
A	3,93	43,4	6,48	0,47	3,1	2,2	6,3	16,6	0,40	22,7	27	50	
C10+A	4,05	40,7	13,14	0,52	4,2	2,2	4,8	14,9	0,43	22,3	34	39	
C20+A	4,10	45,2	8,27	0,46	4,5	3,0	4,3	15,2	0,34	23,5	36	34	
C40+A	4,20	49,2	14,55	0,67	5,6	3,4	2,8	13,4	0,43	23,5	43	23	
Valor F	0,64(ns)	1,72(ns)	1,19(ns)	1,17(ns)	1,11(ns)	1,78(ns)	0,96(ns)	0,89(ns)	2,26(ns)	0,46(ns)	1,11(ns)	1,06(ns)	
CV%	9,05	8,54	64,26	25,93	39,98	26,04	49,7	21,32	15,55	7,89	32,02	49,21	
195 dias (DAA)													
T	3,84 b	43,9	4,36	0,48	3,0 b	2,2 a	5,6 b	23,2 a	0,37	29,3	22 b	48 b	
C 10	3,96 b	42,0	7,19	0,51	3,7 ab	2,8 ab	4,1 ab	18,2 ab	0,33	25,6	29 b	36 ab	
C20	3,97 b	43,9	6,03	0,50	4,0 ab	3,1 ab	3,7 ab	19,6 a	0,38	27,7	29 b	32 ab	
C40	4,11 ab	44,0	10,57	0,50	4,8 ab	2,7 ab	3,6 ab	18,1 ab	0,36	26,3	32 b	30 ab	
A	3,83 b	43,5	4,66	0,49	3,3 b	2,7 ab	5,4 a	21,1 a	0,39	27,9	24 b	45 b	
C10+A	3,89 b	41,9	5,24	0,62	4,1 ab	2,3 b	4,5 ab	20,4 a	0,40	27,8	27 b	38 ab	
C20+A	4,08 ab	46,1	6,54	0,54	4,6 ab	3,3 ab	2,9 ab	18,3 ab	0,33	27,1	32 b	25 ab	
C40+A	4,40 a	47,1	11,25	0,62	6,5 a	4,0 b	1,8 a	12,2 b	0,39	23,6	49 a	14 a	
Valor F	4,69(**)	0,54(ns)	2,46(ns)	1,03(ns)	3,35(*)	3,27(*)	3,23(*)	6,18(**)	0,40(ns)	2,23(ns)	5,91(**)	3,14(*)	
CV%	4,34	11,32	47,61	21,09	27,91	22,65	35,09	13,75	22,76	8,52	22,09	36,08	

Tabela 7. Análise química de solos, por valores médios dos tratamentos: testemunha (t), 10 t.ha⁻¹ de biocarvão (C10), 20 t.ha⁻¹ de biocarvão (C20), 40 t.ha⁻¹ de biocarvão (C40), NPK (a), 10 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C10+A), 20 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C20+A), 40 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C40+A) aos 240 dias após a aplicação (DAA) do biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Tratamentos/Tempo	pH (CaCl ₂)	M.O. (g/dm ³)	P (mg/dm ³)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al ³⁺	Na ⁺	CTC pot.	V (%)	m (%)
	------(cmol _c /dm ³)-----											
240 dias												
T	3,73	43,4	5,77	0,41	3,7	3,0	5,7	17,9	0,40	25,4	30	43
C 10	3,63	39,0	6,83	0,47	3,1	2,0	5,8	19,5	0,56	25,7	24	48
C20	3,85	36,5	6,11	0,52	4,1	2,9	4,0	17,0	0,39	24,9	32	33
C40	3,78	36,4	6,19	0,56	4,0	2,5	5,1	17,3	0,46	24,8	30	40
A	3,63	36,8	5,78	0,45	2,8	2,4	6,9	20,9	0,43	27,0	23	53
C10+A	3,66	42,5	6,87	0,54	3,1	2,7	6,3	20,6	0,42	27,3	25	48
C20+A	3,77	37,5	5,87	0,48	3,6	3,0	5,1	17,9	0,36	25,3	29	40
C40+A	3,86	31,0	6,24	0,48	4,0	3,6	4,1	16,4	0,38	24,9	34	32
Valor F	1,20(ns)	0,95(ns)	0,08(ns)	0,80(ns)	0,97(ns)	1,94(ns)	1,35(ns)	1,39(ns)	1,51(ns)	0,61(ns)	1,54(ns)	1,54(ns)
CV%	4,49	21,06	47,54	21,83	28,10	24,56	32,48	15,29	23,92	9,20	23,35	27,2

Nos resultados das avaliações foram verificados aumento no pH do solo, para o tratamento C40+A em relação a testemunha e C10 aos 60 dias e para o mesmo tratamento em relação a T, C10, C20, A, C10+A aos 195 dias.

O aumento dos níveis de bases trocáveis no solo tende a elevar o pH do solo pela substituição de íons de H^+ e Al^{+3} no complexo de troca do solo (MIYAZAWA *et al.*, 2000). As maiores doses de biocarvão aplicadas aumentaram quantidade de bases pela presença de cinzas. Essas cinzas ficam alocadas nos microporos existentes no biocarvão. A maioria dos cátions presentes nas cinzas fica adsorvida por forças eletrostáticas apresentando-se como sais solúveis e conseqüentemente ficando rapidamente disponível para as plantas (SANCHEZ *et al.*, 1983; GLASER *et al.*, 2002).

A oscilação do pH $CaCl_2$ mostrou que os níveis das bases trocáveis aumenta e diminui no solo, ou seja, pode haver absorção dos nutrientes pelas plantas, perdas por lixiviação de íons, adsorção dos cátions trocáveis no complexo de trocas ou complexação pela matéria orgânica.

Outro aspecto que pode influenciar a elevação do pH do solo é a decomposição da matéria orgânica quando há aumento nas bases trocáveis no solo (CUNHA *et al.*, 2006; COSTA *et al.*, 2009). A alta reatividade que o biocarvão possui ocasionada pela dissociação dos grupos funcionais presentes nas periferias de suas estruturas pode adsorver íons H^+ do solo elevando o pH (MADARI *et al.*, 2009).

O pH do solo influencia a taxa de liberação de nutrientes por intemperização, a solubilidade de todos os materiais no solo e a quantidade de íons armazenados nos sítios de troca. As mudanças sutis em pH ácidos, por volta de 4 a 4,5 podem favorecer a taxa de mineralização da matéria orgânica, reduzir a precipitação do fósforo com Al e Fe e diminuir perdas de Ca e Mg, e K por lixiviação (TROEH & THOMPSON, 2007).

Os teores de K^+ foram significativos nos tratamentos C40 e C40+A aos 60 dias após a incorporação em relação a testemunha. O tratamento C40 foi superior a testemunha aos 105 dias após a incorporação. A cinza presente no biocarvão é predominantemente constituída por óxidos (MgO, CaO, K_2O) e com a dissociação, os nutrientes são disponibilizados prontamente para as plantas (SANCHEZ *et al.*, 1983). O aumento no teor de K^+ no solo aos 60 e 105 dias com a aplicação de biocarvão, encontrado neste trabalho, também foi encontrado no trabalho

de Oguntude *et al.* (2004), o qual encontraram aumento significativo no teor desse nutriente em plantios de milho com a utilização de biocarvão. Steiner (2004) afirma que grande parte das cinzas de biocarvão é rica em potássio na sua constituição, dependendo de qual parte do material vegetal foi carbonizado. Kramer e Koslowsky, (1960) citado por IPEF (1978) afirmam que, de um terço à metade do peso total de cinzas de madeira é constituído como regra por cálcio e a seguir potássio, vindo posteriormente o fósforo com teores bastante baixos além de traços de outros elementos minerais.

MONTE SERRAT *et al.*, (2006) sugeriram parâmetros gerais médios para a interpretação preliminar de resultados das análises de solo de acordo com a COMISSÃO (1994), IAC (1997) e EMATER - PR (1998) (Tabela 7).

Tabela 8. Sugestão de parâmetros gerais médios para a interpretação preliminar de resultados de análise de solos. Fonte: MONTE SERRAT *et al.*, (2006).

Níveis no solo	pH em CaCl ₂	pH SMP	Determinações				T
			Al ⁺³	Ca ⁺²	Cátions trocáveis		
					Mg ²⁺	K ⁺	
			-----cmol _c /dm ³ -----				
Muito Baixo	< 5,0	< 5,5	< 0,3	< 1	< 0,3	< 0,10	-
Baixo	5,0 - 5,4	5,5 - 6,0	0,3 - 0,5	1 - 2	0,3 - 0,4	0,10 - 0,15	< 5
Médio	5,4 - 5,8	6,0 - 6,5	0,5 - 1,0	2 - 4	0,4 - 0,8	0,15 - 0,30	5 - 10
Alto	5,8 - 6,2	6,5 - 7,0	>1,0	4 - 6	0,8 - 1,0	0,30 - 0,40	10 - 15
Muito Alto	> 6,2	> 7,0	-	> 6	>1,0	> 0,40	> 15

T = CTC potencial a pH= 7,0.

Em relação aos teores de Ca⁺², o tratamento C40+A foi o que diferiu estatisticamente dos demais aos 195 dias. Os cátions presentes na solução devido à dissociação de óxidos das cinzas do biocarvão ficam fortemente adsorvidos nas superfícies da matéria orgânica. Em solos com TPI, Sombroek (1966) explicou que ocorre o fenômeno de complexação da matéria orgânica com íons de cálcio revestindo as partículas do solo. Esse processo contribui para o aumento do nutriente em materiais carbonizados. De acordo com a Tabela 7 os valores de Ca⁺² no tratamento C40+A são interpretados como altos, enquanto para a testemunha (T) são

interpretados como médios, sugerindo que mesmo ocorrendo o processo de complexação com a matéria orgânica, que pode justificar a oscilação dos teores de Ca^{2+} , a aplicação de biocarvão aumentou os teores de cálcio no solo.

Os teores de Mg^{2+} foram estatisticamente diferentes aos 195 dias, onde o tratamento C40+A foi superior à testemunha (Tabela 5). Para todos os tratamentos, os teores de Mg^{+2} estão acima de $2 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e se encontram em nível muito alto de acordo com a Tabela 7. A relação ótima de Ca/Mg para a maioria das plantas deve estar entre 4:1 e 8:1 (MEDEIROS *et al.*, 2008). Nesse estudo, a relação Ca/Mg fica em média próxima de 1,5:1 nas doses com biocarvão e 1,2:1 nas testemunhas. Em TPI a quantidade de Mg^{+2} é normalmente menor que 1/5 da quantidade de Ca^{+2} (SOMBROEK, 1966).

Em relação à concentração de Al^{+3} foi observado que com o aumento da quantidade de biocarvão incorporado há a diminuição da sua concentração no solo aos 60 e 195 dias. O tratamento C40+A foi o mais eficiente na redução do alumínio no solo. O tratamento C40+A diminuiu, no mínimo, aproximadamente 20% do Al tóxico em relação à testemunha (Tabelas 4, 5 e 6).

Dentre as espécies solúveis de alumínio encontradas em solos ácidos, Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, AIL (L = orgânico), o Al^{3+} é a espécie mais tóxica às plantas (MIYAZAWA *et al.*, 2000). A precipitação do alumínio é favorecida com a elevação do pH formando $\text{Al}(\text{OH})_3$. A sua toxidez é determinada por sua atividade na solução do solo. A quantificação de íons na solução do solo é um procedimento difícil e pouco utilizado. Através das cargas elétricas negativas da CTC efetiva do solo em relação aos outros cátions (saturação por alumínio) pôde-se indicar a toxidez de Al em % (m) (ERNANI, 2008).

Geralmente, valores inferiores a 20% indicam que o efeito tóxico é nulo e acima de 45% o efeito é muito alto. O tratamento C40+A obteve, em média, aos 60 e 195 dias, uma saturação por alumínio de 17%, já a testemunha esse valor foi de 46%. Os tratamentos C10 e C10+A tiveram valores de 39% e os tratamentos C20 e C20+A, 32%. Portanto, somente o tratamento C40+A aos 60 e 195 dias foi suficiente para anular o efeito do Al tóxico presente no solo em estudo. Os valores quantificados para Al^{3+} em todos os tratamentos se encontram em nível alto (Tabela 8) indicando toxidez por alumínio.

A redução significativa da acidez potencial (H+Al) com a aplicação do biocarvão

ocorreu com o tratamento C40+A aos 195 dias. O aumento do pH no solo forma espécie de Al insolúveis, e conseqüentemente reduz o conteúdo de H+Al no solo. O aumento das bases trocáveis (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) promove competição pelos sítios de troca (CTC), diminuindo o conteúdo de H+Al (Van RAIJ *et al.*, 1997).

A saturação por bases (V%) apresentou diferenças significativas, aos 195 dias da aplicação do biocarvão apenas para o tratamento C40+A com valor de 48,7%, ou seja, 48,7% da CTC estão ocupadas por cátions trocáveis, quase se tornando eutrófico ($V\% \geq 50\%$) Para a testemunha esse valor foi de aproximadamente 22% (Tabela 5). Os outros tratamentos tiveram ligeiro aumento conforme as doses aplicadas com ou sem adubação, C10 e C10+A com 26% e C20 e C20+A com 30%, em média.

O aumento na quantidade de bases trocáveis é proporcional à quantidade de biocarvão que é adicionada, pois maiores as quantidades de biocarvão adicionaram ao solo maior teor de cinzas, que disponibilizam cátions para a solução do solo e estes entra em equilíbrio rápido com a superfície de adsorção dos colóides por forças eletrostáticas (GLASER *et al.*, 2002). A saturação por bases reflete o aumento de bases e diminuição da acidez potencial do solo.

Muitos mecanismos para a retenção de nutrientes através do biocarvão são relatados. O carvão pirogênico pode apresentar uma maior densidade de carga negativa por unidade de área superficial e conseqüentemente uma maior densidade de carga, devido às características químicas desejáveis do biocarvão. GLASER *et al.*, (2002) ainda afirmam que a retenção de nutrientes nas partículas dos materiais carbonizados também se deve ao fato de que os mesmos são presos através de forças físicas nos poros finos do biocarvão. O que se pode concluir é que nenhum desses fatores atua de forma isolada. Devido ao grande número de reações que podem ocorrer em nível de solução do solo e matéria orgânica todos os processos podem acontecer ao mesmo tempo.

Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos quanto à CTC, uma vez que a aplicação de biocarvão não alterou a densidade de cargas do solo. A matéria orgânica dos solos (MOS) pode governar a geração de cargas elétricas negativas sob dependência do pH, todavia essas cargas não foram significativas devido a pequena quantidade de material orgânico nos solos, cerca de 5% em relação a massa mineral, água e espaços porosos. O aumento do pH e o número de bases adicionadas nos tratamentos com as

maiores doses não foram suficientes para elevar a CTC em relação aos tratamentos T e A, porque ocorreu também diminuição da acidez potencial e precipitação do Al^{3+} na forma de óxidos pouco solúveis.

O teor de matéria orgânica nos tratamentos com biocarvão deveriam ter sido superiores ao da testemunha, fato que não foi observado nesse estudo. Como 55% do biocarvão adicionado é constituído por carbono fixo, os teores de matéria orgânica deveriam aumentar aproximadamente 5, 10 e 20 g/dm³ com a adição de 10, 20 e 40 t. ha⁻¹ de biocarvão, respectivamente. Porém, o maior aumento observado foi de 4,2 g/dm³. Conforme MADARI *et al.*, (2006), o método para a quantificação de matéria orgânica do solo baseado na oxidação por dicromato de potássio (*Walkley-Black*) apenas quantifica a matéria orgânica oxidável do solo. Como o biocarvão é muito estável o método empregado não o quantifica devido a difícil digestão com ácido sulfúrico concentrado (STEINER *et al.*, 2004).

Valores não significativos foram observados para o Na^+ , mostrando que não há teores significativos desse nutriente na constituição dos resíduos de biocarvão (cinzas), e também por se tratar da mesma unidade pedológica (Costa *et al.*, 2009).

5.2. Efeitos dos tratamentos nos atributos físicos do solo

A avaliação dos resultados mostrou que houve influencia dos tratamentos sobre o teor de umidade do solo em avaliações realizadas aos 60, 105, 150, 195, 240 dias após aplicação dos tratamentos (Tabelas 8, 9, 10). Para os demais atributos avaliados, não houve diferença estatística entre eles pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), a exceção de silte e argila nas avaliações aos 195 dias.

Tabela 9. Análise física de solos, por valores médios dos tratamentos: testemunha (T), 10 t.ha⁻¹ de biocarvão (C10), 20 t.ha⁻¹ de biocarvão (C20), 40 t.ha⁻¹ de biocarvão (C40), NPK (A), 10 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C10+A), 20 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C20+A), 40 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C40+A) aos 60 e 105 dias após a aplicação (DAA) do biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Tratamentos	Umidade (%)	Dp (g/cm ³)	Ds (g/cm ³)	Porosidade Total (%)	Areia Fina	Areia Grossa	Silte	Argila
					----- (g/dm ³) -----			
60 dias (DAA)								
T	40,7 b	2,51	0,96	61,8	19,9	28,8	240,7	710,5
C 10	40,2 b	2,50	0,98	60,9	22,0	23,8	259,2	695,0
C20	57,1 ab	2,37	0,85	64,1	26,1	29,9	265,0	678,5
C40	59,3 ab	2,45	0,70	71,6	17,0	27,0	243,0	713,0
A	66,6 a	2,22	0,71	68,0	20,9	28,6	208,5	742,0
C10+A	54,7 ab	2,44	0,91	62,6	19,2	24,2	233,5	723,0
C20+A	62,4 a	2,37	0,80	66,4	17,5	22,7	283,8	676,0
C40+A	67,6 a	2,41	0,81	66,2	19,5	23,9	263,6	693,0
Valor F	2,88(*)	0,76(ns)	1,55(ns)	1,33(ns)	1,06(ns)	0,21(ns)	0,91(ns)	0,94(ns)
CV%	22,27	8,99	20,15	9,49	27,38	46,49	19,48	6,61
105 dias (DAA)								
T	37,6 b	2,21	0,89	59,3	27,8	40,2	468,0	464,0
C 10	38,1 b	2,43	0,95	60,6	33,1	54,3	446,6	466,0
C20	43,3 ab	2,52	0,84	66,6	43,2	45,8	471,0	440,0
C40	44,0 ab	2,14	0,82	61,6	35,8	31,8	441,4	491,0
A	48,6 ab	2,49	0,91	63,2	28,2	40,4	474,8	456,0
C10+A	47,1 ab	2,29	0,83	63,9	36,7	66,6	437,7	459,0
C20+A	54,8 a	2,28	0,75	66,8	40,7	43,8	470,5	445,0
C40+A	55,1 a	2,21	0,82	62,72	34,6	32,1	493,0	445,0
Valor F	2,68(*)	0,76(ns)	1,77(ns)	1,71(ns)	1,55(ns)	1,74(ns)	1,02(ns)	0,63(ns)
CV%	17,70	7,47	11,04	6,48	24,33	39,51	8,20	8,91

Tabela 10. Análise física de solos, por valores médios dos tratamentos: testemunha (T), 10 t.ha⁻¹ de biocarvão (C10), 20 t.ha⁻¹ de biocarvão (C20), 40 t.ha⁻¹ de biocarvão (C40), NPK (A), 10 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C10+A), 20 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C20+A), 40 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C40+A) aos 150 e 195 dias após a aplicação (DAA) do biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Tratamento/Tempo	Umidade	Dp	Ds	Porosidade total	Areia Fina	Areia Grossa	Silte	Argila
	(%)	(g/dm ³)	(g/dm ³)	(%)	------(g/dm ³)-----			
150 dias (DAA)								
T	41,4 b	2,54	0,84	66,8	30,9	29,6	461,9	477,5
C 10	54,2 a	2,45	0,71	70,9	47,3	41,6	438,6	472,5
C20	50,8 ab	2,48	0,87	64,8	49,0	41,7	416,8	492,5
C40	53,1 a	2,45	0,80	67,6	49,3	43,4	501,3	406,0
A	40,7 b	2,56	0,87	65,9	37,0	32,4	487,5	443,0
C10+A	57,0 a	2,46	0,79	67,7	37,6	40,2	424,7	497,5
C20+A	53,1 a	2,39	0,72	69,8	39,5	38,3	474,2	428,0
C40+A	53,1 a	2,42	0,81	66,4	45,4	41,8	472,8	440,0
Valor F	2,68(*)	0,76(ns)	1,77(ns)	1,70(ns)	1,31(ns)	1,10(ns)	0,66(ns)	0,73(ns)
CV%	17,70	7,47	11,04	6,48	27,93	24,51	16,17	16,76
195 dias (DAA)								
T	35,2 b	2,37	0,73	68,9	29,2	26,4	495,8 a	441,0 c
C 10	41,4 ab	2,30	0,79	65,1	31,1	36,3	449,8 ab	481,5 bc
C20	41,1 ab	2,29	0,71	69,2	24,5	31,4	327,5 bc	615,2 ab
C40	46,5 a	2,34	0,73	69,0	25,1	23,4	306,3 c	645,0 a
A	40,6 ab	2,39	0,78	67,3	19,2	16,5	349,3 bc	615,0 ab
C10+A	40,5 ab	2,40	0,81	66,3	23,2	25,1	284,2 c	667,5 a
C20+A	39,5 ab	2,36	0,79	66,7	25,0	31,9	328,1 bc	615,0 ab
C40+A	44,2 a	2,33	0,83	64,4	30,92	38,1	287,5 c	643,5 a
Valor F	2,68(*)	0,76(ns)	1,77(ns)	1,70(ns)	2,42(ns)	1,41(ns)	6,73(*)	7,93(**)
CV%	17,70	7,47	11,04	6,48	20,39	41,86	16,94	9,93

Tabela 11. Análise física de solos, por valores médios dos tratamentos: testemunha (T), 10 t.ha⁻¹ de biocarvão (C10), 20 t.ha⁻¹ de biocarvão (C20), 40 t.ha⁻¹ de biocarvão (C40), NPK (A), 10 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C10+A), 20 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C20+A), 40 t.ha⁻¹ de biocarvão e NPK (C40+A) aos 240 dias após a aplicação (DAA) do biocarvão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Tratamento/Tempo	Umidade (%)	Dp (g/dm ³)	Ds (g/dm ³)	Porosidade total (%)	Areia Fina	Areia Grossa	Silte	Argila
					------(g/dm ³)-----			
240 dias								
T	36,3 b	2,55	0,71	72,3	14,9	16,0	321,6	647,5
C 10	52,7 ab	2,48	0,61	75,4	18,7	18,5	250,8	712,0
C20	58,4 a	2,48	0,56	77,5	21,7	28,9	193,4	756,0
C40	57,4 a	2,53	0,53	79,4	20,8	18,6	287,1	673,5
A	38,9 ab	2,46	0,66	71,5	16,6	14,7	355,7	613,0
C10+A	58,3 a	2,52	0,57	77,2	22,9	16,9	284,7	675,5
C20+A	55,0 ab	2,60	0,60	77,0	19,5	19,2	288,2	673,0
C40+A	58,1 a	2,46	0,53	78,3	21,6	20,4	264,4	693,5
Valor F	2,68(*)	0,76(ns)	1,77(ns)	1,71(ns)	1,43(ns)	0,94(ns)	0,78(ns)	0,55(ns)
CV%	17,70	7,47	11,04	6,48	23,41	46,80	38,83	16,83

A incorporação de biocarvão aumentou a umidade gravimétrica do solo, tendo variações nos valores obtidos para os tratamentos ao longo do tempo (Tabelas 8, 9 e 10). O tratamento C40+A foi o único que melhorou esse atributo em todas as observações. A adição de resíduos de biocarvão resultou um aumento, em média, da umidade do solo de 56% no tratamento C40+A em relação à testemunha durante os 240 dias

Os finos de biocarvão possuem uma estrutura muito porosa. Os poros presentes funcionam como “esponjas” que retêm a água do solo, aumentando a disponibilidade de água potencial para as plantas. A disponibilidade de água para as plantas depende basicamente da textura, estrutura e teor de matéria orgânica do solo. Desta forma, a matéria orgânica incorporada no solo na forma de biocarvão atuou de forma positiva com a fração mineral melhorando as propriedades físico-hídricas, formando agregados, reduzindo a coesão e a plasticidade e contribuiu para o arejamento e friabilidade do solo acumulando mais água no solo. (PICCOLO *et al.*, 1997 e BENITES *et al.*, 2005, Costa *et al.*, 2009).

Com relação à textura dos solos, o aumento da umidade em solos muito argilosos neste estudo propõe um efeito combinando entre o biocarvão e parte mineral do solo. Esses resultados contrapõem os resultados encontrados por Sohi *et al.* (2009) que afirmam que o tamanho dos poros do biocarvão é relativamente fixo, enquanto que a do solo mineral é determinada principalmente pela textura, assim pode-se esperar que os aumentos da umidade a partir do biocarvão disponível são maiores em solos arenosos, tem um efeito neutro em solos de textura média, e diminui a umidade disponível no solo argiloso. Tryon, 1948, citado por Glaser *et al.*, (2002) encontrou 18% de acréscimos na retenção da umidade do solo em relação a quantidade de biocarvão em solos arenosos, entretanto não houve variação da umidade em solos argilosos e siltosos devido a hidrofobicidade do biocarvão.

A biocarvão é um material naturalmente hidrofóbico e isto propicia pouca ou nenhuma absorção de água, entretanto, quando o mesmo foi incorporado no solo, essa característica pode ter mudado ocasionando maior capacidade de retenção de água nos solos de locais onde ocorrem perdas por escoamento, no caso de solos arenosos. No caso de solos argilosos, que possuem naturalmente quantidade maior de microporos que retém quantidades maiores de água, em relação aos solos arenosos, portanto, o biocarvão ajuda neste aspecto, elevando o teor água no solo.

O parâmetro D_s não foi significativo com a incorporação do biocarvão, ou seja, apesar do biocarvão ser constituído por microporos as quantidades não foram suficientes para reduzir a densidade do solo. Observaram-se valores abaixo de $0,98 \text{ g/dm}^3$ em todos os tratamentos indicando normalidade para solos argilosos, que fica entre $1,0 - 1,6 \text{ g/dm}^3$ (BRADY, 1989). Densidades superiores a $1,15 \text{ g/dm}^3$ para *Eucalyptus* sp. em solos com textura muito argilosa reduziram a capacidade de absorção de nutrientes pela redução no volume de solo explorado pelas raízes e com isso, diminuí os teores de nutrientes na parte aérea (BORGES *et al.*, 1986). Além disso, o aumento da densidade do solo ($1,30 \text{ g/dm}^3$) para *Eucalyptus grandis* em Latossolos reduziu o crescimento em solos mais argilosos diminuindo a eficiência da adubação fosfatada (RIBEIRO *et al.*, 2010). Concomitantemente, os valores de porosidade total (Pt) não foram significativos sob os tratamentos. Resultados acima de 60% de porosidade foram encontrados em todos os tratamentos indicando que pode apresentar valores maiores quando possuírem alto teor de matéria orgânica

O parâmetro D_p do solo não diferiu estatisticamente, uma vez que a densidade de partículas é uma propriedade da natureza do material mineral do solo predominante na sua composição pouco influenciada pelo manejo ou sistema de uso (BRADY, 1989). Assim, a aplicação do biocarvão pouco influenciou nesse parâmetro. A densidade de partículas não é afetada pela porosidade do solo. Entretanto, pela influência da matéria orgânica, estes valores podem variar para menos, chegando até o índice de 1,95, dentre os limites de 2,5 e 2,75 para solos minerais (VIEIRA, 1975). A baixa densidade de partículas evidencia um solo com elevado teor de matéria orgânica, pois este pesa muito menos do que sólidos minerais em um mesmo volume. E que, por conseguinte, os solos de superfície possuem geralmente densidades de partículas mais baixas do que os solos de subsuperfície (BUCKMAN & BRADY, 1976).

Os teores de silte e argila diferiram estatisticamente aos 195 dias. Erros sistemáticos podem ter afetado a análise granulométrica, uma vez que as menores frações do biocarvão, na forma de finos, de tamanho inferiores a $0,053 \text{ mm}$ podem ter participado da granulometria como parte mineral do solo. Durante o procedimento para a determinação de areia, silte e argila não foram realizadas ataques com agentes oxidantes da matéria orgânica, o que pode ter contribuído para a sua quantificação nas frações granulométricas do solo assim, as amostras com maiores quantidades de biocarvão acabaram tendo maiores valores de argila e como silte

é obtido por diferença esse resultado acabou influenciando na diferença estatística.

5.3. Efeitos dos tratamentos no crescimento do *Eucalyptus benthamii*

Através da avaliação dos resultados foi observado o efeito na promoção de crescimento das plantas pelos tratamentos realizados. Para as fontes de variação biocarvão, adubo e a interação entre eles obtiveram-se respostas para a altura das plantas, enquanto que para as fontes de variação biocarvão e adubo obtiveram-se respostas para o diâmetro do colo. O teste estatístico mostrou que para a altura das plantas, o efeito das quantidades do biocarvão apresentou diferença estatística dos 90 aos 210 dias. Para o efeito do adubo, houve diferença estatística aos 60 e 90 dias e a interação entre as quantidades do biocarvão e a adubação variou estatisticamente aos 90 e aos 210 dias. O teste estatístico mostrou que para o diâmetro do colo das plantas houve diferença estatística dos 120 aos 210 dias para as quantidades do biocarvão, enquanto que, para o efeito da adubação somente houve diferença estatística aos 90 dias (Tabela 12). As avaliações das médias para os parâmetros altura e diâmetro do colo são apresentados nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 12. Valores de F das Fontes de Variação aos 60, 90, 120, 180 e 210 dias após o plantio (DAP) para a Altura das plantas (cm) e Diâmetro do colo (mm), (ns) não significativo (*) significativo a 5% $p < 0,05$, (**) significativo a 1% $p < 0,01$.

DAP	Altura (cm)			DAP	Diâmetro do colo (mm)		
	Valor de F				Valor de F		
	Biocarvão	Adubo	Interação		Biocarvão	Adubo	Interação
60	0,18(ns)	4,84(*)	0,17(ns)	60	0,02(ns)	4,20(ns)	0,11(ns)
90	3,75(*)	64,56(**)	37,31(**)	90	0,93(ns)	23,61(**)	1,58(ns)
120	5,31(**)	0,12(ns)	0,46(ns)	120	5,48(**)	0,05(ns)	0,63(ns)
150	6,14(**)	0,20(ns)	0,53(ns)	150	5,77(**)	0,06(ns)	0,61(ns)
180	7,89(*)	0,02(ns)	1,48(ns)	180	8,82(**)	0,70(ns)	1,47(ns)
210	17,92(**)	0,002(ns)	3,87(*)	210	12,29(**)	0,61(ns)	1,88(ns)

Tabela 13. Altura média de plantas de *E. benthamii*, centímetros (cm), aos 60, 90, 120, 180 e 210 dias após o plantio (DAP) para as fontes de variação.

DAP	Fontes de Variação							
	Biocarvão (t/ha)		Adubo (kg/ha de NPK)		Interação			
60	0	42,83	0	42,25 b	Adubo (kg/ha de NPK)			
	10	43,08	340	44,33 a	Biocarvão (t/ha)		0	340
	20	43,70				0	41,87	43,79
						10	41,97	44,18
						20	43,12	44,27
						40	42,04	45,08
	90	0	47,03 b	0	46,15 b	Adubo (kg/ha de NPK)		
		10	48,67 ab	340	50,26 a	Biocarvão (t/ha)		0
20		49,32 a				0	41,35 cB	52,71 aA
						10	45,08 bB	52,27 aA
						20	50,54 aA	48,10 bB
						40	47,63 bA	47,97 bA
120		0	48,31 b	0	52,59	Adubo (kg/ha de NPK)		
		10	52,61 ab	340	53,07	Biocarvão (t/ha)		0
	20	55,40 a				0	48,42	48,20
						10	52,33	52,88
						20	56,13	54,66
						40	53,47	56,54
	150	0	51,54 b	0	56,10	Adubo (kg/ha de NPK)		
		10	56,09 ab	340	56,80	Biocarvão (t/ha)		0
20		59,13 a				0	51,73	51,35
						10	55,77	56,41
						20	59,76	58,50
						40	57,32	60,94
180		0	51,94 b	0	57,90	Adubo (kg/ha de NPK)		
		10	56,56 ab	340	57,63	Biocarvão (t/ha)		0
	20	61,76 a				0	52,08	51,82
						10	56,20	56,92
						20	64,50	59,02
						40	58,87	62,77
	210	0	56,15 b	0	63,42	Adubo (kg/ha de NPK)		
		10	61,44 b	340	63,35	Biocarvão (t/ha)		0
20		68,42 a				0	55,92 cA	56,37 cA
						10	60,50 bcA	62,37 bcA
						20	72,20 aA	64,65 abB
						40	65,05 abA	70,00 aA

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de *Tukey*. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem estatisticamente pelo teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 14. Diâmetro do colo de plantas de *E. benthamii*, em milímetros (mm), aos 60, 90, 120, 150, 180 e 210 dias após o plantio (DAP) para as fontes de variação.

DAP	Fontes de Variação					
	Biocarvão (t/ha)	Adubo (kg/ha de NPK)		Interação		
60	0	3,20	0	3,07	Adubo (kg/ha de NPK)	
	10	3,18	340	3,28	0	340
	20	3,17			Biocarvão (t/ha)	
	40	3,15			0	3,10
					10	3,11
					20	3,07
					40	3,00
						3,32
90	0	3,81	0	3,66 b	Adubo (kg/ha de NPK)	
	10	3,88	340	4,19 a	0	340
	20	3,96			Biocarvão (t/ha)	
	40	4,06			0	3,39
					10	3,52
					20	3,82
					40	3,89
						4,22
120	0	4,18 b	0	4,80	Adubo (kg/ha de NPK)	
	10	4,46 ab	340	4,79	0	340
	20	5,13 a			Biocarvão (t/ha)	
	40	5,38 a			0	4,34
					10	4,42
					20	5,29
					40	5,14
						5,62
150	0	4,48 b	0	5,22	Adubo (kg/ha de NPK)	
	10	4,92 ab	340	5,13	0	340
	20	5,65 a			Biocarvão (t/ha)	
	40	5,71 a			0	4,7
					10	4,96
					20	5,75
					40	5,48
						5,95
180	0	4,56 c	0	5,52	Adubo (kg/ha de NPK)	
	10	5,01 bc	340	5,31	0	340
	20	6,11 a			Biocarvão (t/ha)	
	40	5,99 ab			0	4,77
					10	5,02
					20	6,57
					40	5,72
						6,25
210	0	4,90 b	0	5,85	Adubo (kg/ha de NPK)	
	10	5,30 b	340	5,67	0	340
	20	6,51 a			Biocarvão (t/ha)	
	40	6,34 a			0	5,07
					10	5,27
					20	6,97
					40	6,07
						6,60

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de *Tukey*.

Aos 60 dias observou-se apenas o efeito significativo do fator adubo na altura das

plantas. As plantas que receberam adubação apresentaram maior desenvolvimento. Aos 90 dias houve efeito significativo da adubação e do biocarvão. A partir dos 120 dias, observou-se apenas o efeito significativo do fator biocarvão na altura das plantas, sendo que os tratamentos com 20 e 40 t.ha⁻¹ foram superiores à testemunha até os 180 dias, e superiores à testemunha e à dose 10 t.ha⁻¹ aos 210 dias. Equações de retas quadráticas que explicam mais de 95% da relação entre a altura das plantas e as doses testadas, como pode ser observado na Figura 9, indicam que doses superiores a 40 t.ha⁻¹ podem interferir negativamente no desenvolvimento das plantas.

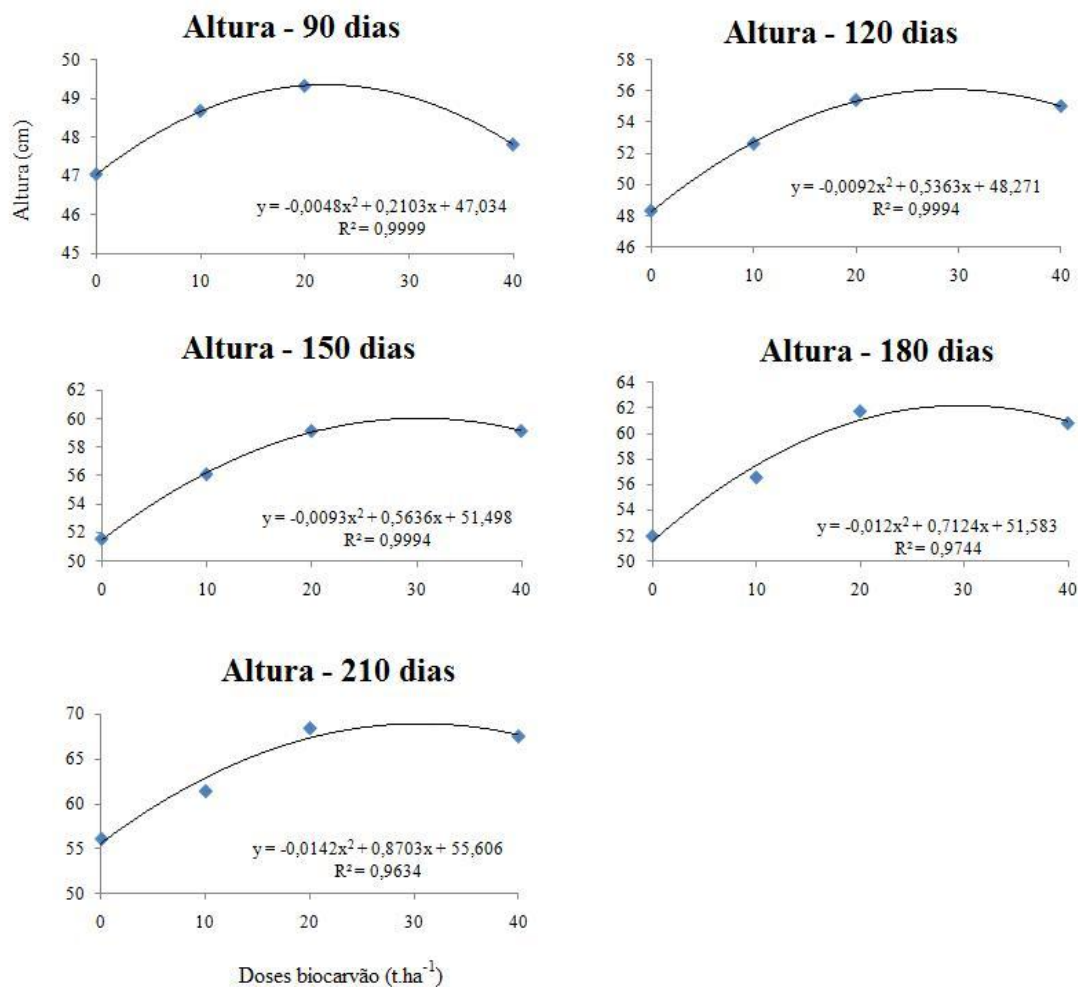


Figura 9. Curva de tendência da relação entre a altura das plantas (cm) aos 90, 120, 150, 180 e 210 dias após o plantio (DAP) e as doses de biocarcvão testadas para *Eucalyptus benthamii*.

Apenas aos 90 e 210 dias do plantio a interação entre o biocarcvão e a adubação promoveu incrementos em altura. Aos 90 dias, os tratamentos A, C10+A e C20 foram superiores aos demais mostrando que a dose de 20 t.ha⁻¹ promoveu o mesmo efeito que os tratamentos com adubação e 10 t.ha⁻¹ com adubação. Já aos 210 dias os tratamentos C40+A, C40 e C20 foram superiores. Os resultados mostrados pela interação aos 90 e 210 dias após o plantio indicam que a dose 20 t.ha⁻¹ de biocarcvão equivale às doses 0 t.ha⁻¹ de biocarcvão com

adubação e 10 t.ha⁻¹ de biocarvão com adubação aos 90 dias, e à dose 40 t.ha⁻¹ de biocarvão com adubação aos 210 dias.

Para o crescimento em diâmetro do colo observaram-se diferenças significativas entre os tratamentos aos 90 dias para o fator adubo e a partir dos 120 dias para o fator biocarvão. A baixa variabilidade das plantas no início do experimento (60 dias) pode estar relacionada ao fato das mudas serem de origem clonal, procedentes do mesmo jardim clonal, que por sua vez apresentaram homogeneidade inicial. Como para a avaliação do crescimento em altura, o melhor crescimento em diâmetro ocorreu com a adubação e com doses crescentes de biocarvão. As doses 20 e 40 t.ha⁻¹ foram superiores à testemunha aos 120, 150, 180 e 210 dias após o plantio e superiores à dose 10 t.ha⁻¹ aos 210 dias. Na avaliação do diâmetro do colo não foi observado efeito da interação biocarvão e adubo.

Com relação às diferenças estatísticas dos tratamentos para o fator biocarvão, superiores nos parâmetros de crescimento, a umidade, que foi uma propriedade física que aumentou conforme o aumento das doses de biocarvão, pode ter interferido na disponibilidade dos nutrientes no solo melhorando o crescimento das plantas. Assim, o biocarvão, além de ser fonte de nutrientes, manteve o solo em condições favoráveis com disponibilidade de nutrientes, conseqüentemente favorecendo o crescimento das plantas a partir dos 120 dias para altura e diâmetro do colo.

Estudos sobre a fase inicial do *E. benthamii* são desconhecidos. A literatura disponível somente relata idades mais avançadas e não são verificados estudos sobre a fertilização da espécie. Aos 45 meses, o *E. benthamii* obteve sobrevivência de 70%, altura média de 16 m e DAP médio de 15 cm na região de Dois Vizinhos, PR (HIGA & CARVALHO, 1990). Aos 8 anos de idade, *E. benthamii* tiveram altura média de 21,7 m e DAP médio de 18,2 cm em Colombo, PR. (EMBRAPA, 1988 citado por HIGA & PEREIRA, 2003).

Embora as espécies do gênero *Eucalyptus* tenham um crescimento rápido, este é variável e depende de diversos fatores, sobretudo material genético e condições do solo.

Com relação às condições do solo, o crescimento inicial lento das plantas pode ser atribuído a quantidade de adubo aplicada, que não foi suficiente no fornecimento dos nutrientes essenciais (NPK), sobretudo o fósforo. Mesmo assim, a adubação inicial interferiu nas variáveis de crescimento avaliadas, aos 60 dias para a altura e 60 e 90 dias para o

diâmetro do colo, disponibilizando os nutrientes de forma mais rápida (solúvel) para a absorção das raízes. Além disso, as concentrações de Al^{+3} e a relação Ca/Mg podem ter interferido no crescimento.

As quantidades de fósforo adicionado não foram suficientes para o arranque das mudas de *E. benthamii*. A disponibilidade do fósforo varia com a solubilidade, a quantidade presente de água e a distância que o íon de fosfato deve se mover para alcançar a raiz da planta (TROEH & THOMPSON, 2007).

A solubilidade do P depende extremamente do pH. Em solos ácidos a maior parte do P absorvido é o íon fosfato ($H_2PO_4^-$) (TROEH & THOMPSON, 2007). Com a redução do pH há uma aumento da interação do P com Al e, ou Fe, e este passa a ser adsorvido na superfície de óxidos de Al ou Fe fazendo parte do componente sólido do solo, na estrutura do óxido, apresentando uma solubilidade muito baixa.

Devido ao fato do fósforo ser um nutriente de baixa mobilidade no solo, através do mecanismo de difusão, este é dependente do crescimento adequado das raízes das plantas para a sua absorção. Se as raízes não estiverem bem desenvolvidas, a absorção de $H_2PO_4^-$ é prejudicada. Quando a planta não absorve, o fósforo é rapidamente ligado o outro composto, não sendo lixiviado.

Além disso, a relação do fósforo com quantidade de água disponível afeta o mecanismo de difusão, pois não ocorre o transporte do fósforo a uma distância maior que 5 ou 10 milímetros, a menos que algum fósforo altamente solúvel do fertilizante esteja disponível. Essa distância da taxa de transporte diminui quando o solo seca (TROEH & THOMPSON, 2007).

Concentrações maiores que $0,5 \text{ cmol/dm}^3$ de alumínio são prejudiciais para grande parte das plantas (VAN RAIJ *et al.*, 1997) entretanto, a maioria das espécies de *Eucalyptus* cultivadas no Brasil é tolerante ao alumínio (SILVEIRA *et al.*, 2001). Todavia, não são descritas quais são as concentrações que não interferem na absorção dos nutrientes principais para as espécies de *Eucalyptus*. O excesso de alumínio pode causar anomalias ao sistema radicular, modificando os padrões de absorção e o metabolismo de nutrientes (SALVADOR *et al.*, 2000). Além disso, altas concentrações de Al^{+3} fixam o P, reduzindo sua precipitação, tornando-o indisponível a planta.

Outra condição do solo que pode interferir no crescimento é a disponibilidade do Al^{+3} pelo baixo pH. A quantidade de calcário aplicada seguiu a recomendação de Barros *et al.*, 1990, que visa suprir os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} para a cultura de Eucalipto. Em solos de baixa fertilidade é comum a aplicação de calcário objetivando elevar o teor de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ a $2 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (VAN RAIJ *et al.*, 1997). Nesse experimento, após a calagem, os valores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ficaram acima de $2 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (Tabelas 4, 5 e 6). Apesar disso os teores de Al^{+3} ainda permaneceram altos, podendo ter sido a causa do fraco desenvolvimento das plantas, uma vez que pode ter interagido com o fósforo aplicado.

Foi observada também a relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ baixa, porém, o crescimento adequado do eucalipto acontece em ampla faixa da relação entre Ca e Mg (BARROS & NOVAIS, 1990). Por outro lado, foram os altos valores de Mg^{+2} que ocasionaram um desbalanço na relação Ca/Mg, chegando a 1,2/1. Essa alteração pode ter prejudicado a absorção de Ca^{+2} pelas plantas, alterando o equilíbrio iônico no solo pela inibição competitiva entre esses íons (MALAVOLTA *et al.*, 1989). A disponibilidade de Ca^{+2} no solo deve ser alta uma vez que, o nutriente é o que mais se acumula em folhas, ramos e no caule desta essência florestal (BELLOTE, 1979). O Ca^{+2} é o segundo nutriente mais absorvido pelo *Eucalyptus* sp. (BARROS & NOVAIS, 1990). Neste estudo, os valores de Ca^{+2} não foram excedentes a necessidade da cultura.

6. CONCLUSÕES

Com relação às propriedades químicas do CAMBISSOLO HÁPLICO, a aplicação de biocarvão elevou o pH e o teor de K^+ aos 60 dias após a sua incorporação devido ao efeito neutralizante das cinzas.

Aos 195 dias após a incorporação do biocarvão, a dose 40 t.ha^{-1} aumentou o pH, os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , saturação por bases e com conseqüência reduziu o Al^{3+} , saturação por alumínio e acidez potencial.

Para as propriedades físicas do CAMBISSOLO HÁPLICO, a aplicação do biocarvão aumentou a umidade do solo em todos os períodos observados independente do regime de chuvas, favorecendo o desenvolvimento do *Eucalyptus benthamii*.

A utilização das doses 20 e 40 t.ha^{-1} de biocarvão, sem adubação, melhorou o crescimento de *Eucalyptus benthamii* durante o período de 120 a 210 dias após o plantio em relação à testemunha.

A utilização de 20 t.ha^{-1} de biocarvão sem adubação, foi equivalente à utilização das doses de adubação (340 kg/ha de NPK) e 10 t.ha^{-1} mais adubação aos 90 dias após o plantio e de 40 t.ha^{-1} mais adubação aos 210 dias após o plantio.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTINT AND MATERIALS - ASTM. **Standard method for chemical analyses of wood charcoal**. Phyladelphia: 1977. 1042p.

ANDRADE, G. C.; SILVA, H. D. da; BELOTTE, A. F.J.; FERREIRA, C. A. Efeitos da adubação e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 47, p. 43-54, 2003.

ARRUDA, M. R.; TEIXEIRA, W. G.; Utilização de resíduos de carvão vegetal associado fontes orgânicas de nutrientes no manejo sustentável do solo e do guaranazeiro (*Paullinia cupana var sorbilis* (mart.) ducke) na Amazônia Central. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: 1 ed. Embrapa Amazônia Ocidental, 2009v. 1, p. 306-313.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2009. Brasília: ABRAF, 2010. 140 p.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA - AMS. Números do setor. Belo Horizonte: AMS, 2010. Disponível em: <<http://www.silviminas.com.br>>. Acesso em: 15 jan. 2011.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Eds.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.

BELLOTE, A.F.J. **Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) em função da idade**. Piracicaba, 1979. 129p. (Tese-Mestrado-ESALQ).

BELOTTE, A.F.J.; DEDECEK, R.A.; SILVA, H.D. da. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantio de *Eucalyptus* com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.56, p.31-41, jan./jun. 2008.

BENITES, V. de M.; TEIXEIRA, W. G.; REZENDE, M. E.; PIMENTA, A. S. Utilização de carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: aprendendo com as Terras Pretas de Índio. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2005. p. 285-296.

BORGES, E.N.; NOVAES, R.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; NEVES, S.J.C.L. Resposta de mudas de eucalipto à camadas compactadas de solo. **Revista Árvore**, Viçosa/MG, v.10, n.4, p.181-195, 1986.

BORNERMANN, L., KOOKANA, R. S.; WELP, G. Differential sorption behavior of aromatic hydrocarbons on charcoals prepared at different temperatures from grass and wood. **Chemosphere**, vol 67, p 1033–1042, 2007.

BUCKMAN, H.O & BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: F. Bastos, 1989. 898 p.

BUTCHER, P.; SKINNER, A.; GARDINER, C. Increased inbreeding and inter-species gene flow in remnant populations of the rare *Eucalyptus benthamii*. **Genetics**, v. 6, n. 2, p. 213-226, 2005.

BRANDÃO, Z. N.; LIMA, R. de L. S. de; AZEVEDO, D. M. P. de; FREIRE, E. C. Adubação potássica do algodão por meio de cinza de madeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 6. **Anais**.Uberlândia, 2007, p. 1-7.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendação de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3 ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 1994.

COSTA, J.A.; KERN, D.C.; COSTA, M.L.; RODRIGUES, T.E.; KÄMPF, N.; LEHMANN, J.; FRAZÃO, F.J.L. Geoquímica das Terras Pretas Amazônicas. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. **As terras pretas de índio da Amazônia : sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. 1 ed. Manaus, AM. Embrapa Amazônia Ocidental. 2009, p 162 -172.

CUNHA, T.J.F.; MADARI, B. E. ; BENITES, V. M.; CANELAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazonica**, v. 37, p. 91-98, 2005.

CUNHA, T. J.F.; MARADI, B. E.; CANELLAS, L.P.; RIBEIRO, L.P.; BENITES, V. M.; SANTOS, G. A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 33, p.85-93, 2009.

DELUCA T.H., MACKENZIE M.D., GUNDALE M.J. Biochar effects on soil nutrient transformation. Chapter 14. In: LEHMANN J, Joseph S (eds) **Biochar for environmental management science and technology**. London, Earthscan, p 251–280, 2009.

EMATER-PR. **Análise de solo**. 5 ed. Curitiba: EMATER-PR, 1998. (Série Informação Técnica, 21).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina**. Colombo, 1988. 113 p. (Documentos n. 21).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p. (Série Documentos, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Embrapa Produção de Informação: Brasília; Embrapa Solos:Rio de Janeiro. 2005. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. CULTIVO do Eucalipto. Disponível em <
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/ind ex.htm>>. Acesso em 12 de dez. 2009.

ERNANI, P.R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: O autor, 2008. 230p.

FAO. **El eucalipto en la repoblacion forestal**. Roma, 1981. 723 p.

FALCÃO, N. P. S.; CARVALHO, E. J. M.; COMERFORD, N. Avaliação da fertilidade de solos antropogênicos da Amazônia Central. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE DE ARQUEOLOGIA BRASILEIRA, 11. **Anais**. Rio de Janeiro, 2001, 2p.

FALCÃO, N. P. S.; BORGES, L. F. Efeito da fertilidade de Terra Preta de Índio da Amazônia central no estado nutricional e na produtividade do mamão Havaí (*Carica papaya* L.). **Acta Amazônica**. Manaus, v. 36, p. 401-406, 2006.

FALCÃO, N. P. S.; COMERFORD, N. B.; LEHMANN, J. Determining nutrient bioavailability of Amazonian dark earth soils: methodological challenges. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.). **Amazonian dark earths: origin, properties, and management**. New York: Kluwer Academic, 2003. p. 255-270.

FALCÃO, N.; MOREIRA, A.; COMENFORD, N. B. A Fertilidade de Solos de Terra Preta de Índio na Amazônia Central. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. 1 ed. Manaus.AM. Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p.189 – 200.

GLASER, B.;L. HAUMAIER; G. GUGGENBERGER; W. ZECH. The "terra preta" phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften** 88:37-41, 2001.

GLASER, B., LEHMANN, J., ZECH, W.,. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**, v.35, p. 219-230, 2002.

GUNDALE, M.J., & DELUCA, T.H. Temperature and substrate influence the chemical properties of charcoal in the ponderosa pine/Douglas-fir ecosystem. **Forest Ecology and Management**, vol 231, p. 86–93, 2006.

HIGA, A.R.; CARVALHO, P.E.R. de. Sobrevivência e crescimento de doze espécies de eucalipto em Dois Vizinhos, Paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais**. São Paulo: SBS, 1990. p.459-461. Publicado em *Silvicultura*, v.3, n.42, 1990.

HIGA, R. C. V. Aspectos ecológicos e silviculturais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo/PR, n. 38, p. 121-123, 1999.

HIGA, A.R.; PEREIRA, J.C.D. **Usos Potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. Colombo, PR, 2003. 4p. (Comunicado técnico).

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - IAC. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**, por B. van Raij, H. Cantarela, J.A. Quaggio, A. M.C. Furlani. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo, Fundação IAC, 1997.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS – IPEF. **Boletim informativo especial reunião conjunta do IPEF em Minas Gerais**. Boletim informativo. Piracicaba, v.6 n.16, 1978

JOVANOVIC, T.; BOOTH, T. **Improved species climatic profiles: a report for the Australia**. Joint Venture Agroforestry Program. 2002. (RIRDC Publication, n. 02/095). Disponível em: <<http://www.rirdc.gov.au/reports/AFT/02-095.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2010.

KÄMPF, N.; WOODS, W.I.; SOMBROEK, W.; KERN, D.C. & CUNHA, T.J.F. Classification of Amazonian Dark Earths and other ancient anthropic soils. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B. & WOODS, W.I., **Amazonian Dark Earths. Origin, properties and management**. Dordrecht: Kluwer Academic, p.77-102, 2003.

KÄMPF, N. & KERN, D.C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. **Tópicos em Ciência do Solo**, 4:277-320, 2005.

KERN, D.C. **Caracterização Pedológica de Solos com Terra Preta Arqueológica na Região de Oriximiná, Pará**. 1988. 232p. Dissertação. (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RG.

KERN, D.C. **Geoquímica e pedogeoquímica de sítios arqueológicos com Terra Preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel-Pará)**, 1996. 124 p. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Belém, PA.

KERN, D.C. & COSTA, M.L. Composição química de solos antropogênicos desenvolvidos em Latossolo Amarelo derivado de lateritos. **Geociências**, v. 16, p.141-156, 1997.

KERN, D.C.; KÄMPF, N. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com Terra Preta Arqueológica na região de Oriximiná, Pará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 219-225, 1989.

KERN, D.C.; D'aquino, G; RODRIGUES, T.E.; FRAZÃO, F.J.; SOMBROEK, W.; MYERS, T.P.; NEVES, E.G. Distribution of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B. & WOODS, W.I. **Amazonian Dark Earths. Origin, properties and management**. p. 51-75. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003.

KERN, D.C.; KÄMPF, N.; WOODS, W.I.; DENEVAM, W.M.; COSTA, M.L.; FRAZÃO, F.J.L. Evolução do Conhecimento em Terra Preta de Índio. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. 1 ed. Manaus.AM. Embrapa Amazônia Ocidental, 2009, p.72-81.

KRAMER, P.J., KOZLOWSKI, T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1960, 745 p.

KÖPPEN, W. **Climatologia, com um estúdio de los climas de la tierra**. Tradução: Pedro Pérez, 1. ed. Madri: 1948

LEHMANN, J. et al. Slash-and-char: a feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon? In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 7, 2002, Bangkok. **Soil science: confronting new realities in the 21st Century**. Baltimore: Bangkok, 2002.p. 1-12.

LEHMANN, J.; SILVA, J. P. da; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, The Hague, v. 249, n. 2, p. 343-357, 2003.

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

LEHMANN, J. & M. RONDON. Bio-Char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In: UPHOFF, N.; BALL, A.S.; FERNANDES, E.; HERREN, H.; HUSSON, O.; LIANG, M.; PALM, C.; PRETTY, J.; SANCHEZ, P.; SANGINGA, N.; THIES, J. (Eds.). **Biological approaches to sustainable soil systems**. Florida: CRC Press, Taylor and Francis Group. p. 517–530, 2006.

LEHMANN, J. Bio-energy in the black. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, v. 5, n. 7, p. 381-387, 2007.

LEHMANN J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management: an introduction. In: LEHMANN J; JOSEPH S. (eds.) **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. Earthscan Publication, London, p. 1-12, 2009.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J.O.; THIES, J.; LUIZÃO, F.J.; PETERSEN, J.; NEVES, E.G. Black carbon increases cations exchange capacity in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.70. p.1719-1730, 2006.

LIMA, H. N.; SCHAEFER, E.R. ; MELLO, J.W.V.; GILKES, R.J.; KER, J.C. Pedogenesis and pré-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian Black Earth”) of Western Amazonia. **Geoderma**, v.110, p.1 - 17, 2002.

MADARI, B. E.; COSTA, A.R.; CASTRO, L.M.; SANTOS, J.L.S.; BENITES, V.M.; ROCHA, A.R.; MACHADO, P.L.O.A. **Carvão vegetal como condicionador do solo para arroz de terras altas (cultivar Primavera): um estudo prospectivo**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2006. 6p. (Comunicado técnico, 125).

MADARI, B.E.; CUNHA, T.J.F.; NOVOTNY, E.H.; MILORI, D.M.B.P ; MARTIN NETO, L. ; BENITES, V.M.; COELHO, M.R.; SANTOS,G.A. Matéria Orgânica dos Solos Antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): Suas Características e Papel na Sustentabilidade da Fertilidade do Solo. In: TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, H.N.; WOODS, W. **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. Manaus, AM. 1 ed.,: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 172-188, 2009.

MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1989. 292 p.

MEDEIROS, J. C., ALBUQUERQUE, J.A., MAFRA, A.L., ROSA, J.D., GATIBONI, L.C. Relação cálcio: magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico álico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008.

MEDEIROS JR., J.C. **Uso do fino do carvão vegetal e da adubação potássica na produção de berinjela (*Solanum melongena* L.) em Latossolo amarelo antrópico da Amazônia Central**. 2007. 72 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM.

MIKAN, C.J., ABRAMS, M.D. Altered forest composition and soil properties of historic charcoal hearths in southeastern Pennsylvania. **Canadian Journal Forestry Research**, v. 25, 687–696, 1995.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & FRANCHINI, J.C. **Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais**. Informações Agronômicas, 2000, 8p. (Encarte técnico n. 92).

MOLINA, M.V. **Nitrogênio e metais pesados em latossolo e eucalipto cinquenta e cinco meses após a aplicação de bio sólido**. 2004. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

MONTE SERRAT, B.M., OLIVEIRA, A.C. Amostragem de solo para fins de manejo da fertilidade. In: LIMA, M. R.; SIRTOLI, A. E.; MOTTA, A. C. V.; OLIVEIRA, A. C.; MONTE SERRAT, B. M.; WISNIEWSKI, C.; FERREIRA, F. V.; ALMEIDA, L. S.; ALMEIDA, L.; KRIEGER, K. I.; MACHADO, M. A. M.; FAVARETO, N.; COGO, N. P.; BERTOL, O. J.; MARQUES, R. **Diagnóstico e Recomendações de Manejo do Solo: aspectos teóricos e metodológicos**. 1ª ed. Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias, 2006, p.233-255.

MORALES, M.M. **Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado**. 2010. 88p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP.

MORO, L., GONÇALVES, J.L. de M. Efeitos da "cinza" de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* e avaliação financeira. Piracicaba, SP, **IPEF**, n.48/49, p.18-27, jan./dez.1995.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B. de; KLOCK, U. Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 67-76, 1998.

OGUNTUNDE, P.G.; FOSU, M.; AJAYI, A.E.; GIESEN, N. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. **Biology & Fertility of Soil**, v 39, p. 295–299, 2004.

OLIVEIRA, J.B.; et al. Estudos preliminares de normatização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal. In: Penedo, W.R. **Carvão Vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p.7-38. (Série de Publicações Técnica, 006).

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. dos; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas - CNPF, 45p. (Documentos, n. 129), 2006.

PLANAPEC – PLANEJAMENTO AGROPECUÁRIO LTDA. *Eucalyptus benthamii*: solução para áreas que ocorrem geadas. Disponível em: < http://www.planapec.com/index.php?option=com_content&view=article&id=8:eucalyptus-benthamii-solucao-para-areas-que-ocorrem-geadas&catid=2:noticias&Itemid=10>>. Acesso em 10 Jan. 2011.

PICCOLO, A.; PIETRAMELLARA, G. e MBAGWU, J. S. C. Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability. **Geoderma**, v. 75, p. 267-277, 1997.

POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de Eucalyptus e Pinus: implicações silviculturais**. 1985. 211 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1985.

RIBEIRO, M. A. V.; NOVAIS, R.F.; FAQUIN, V. Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, vol.34, n. 4, p.1157-1164, 2010.

SALVADOR, J.O.; MOREIRA, O.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C.P. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p.787-796, 2000.

SANCHEZ, P.A.; VILLACHICA, J.H. & BANDY, D.E. Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.47, p. 1171-1178, 1983

SEAB. SECRETARIA DO ESTADO E DO ABASTECIMENTO DO PARANÁ. Precipitações mensais nos últimos 12 meses (Nov 2009 – Nov 2010). Curitiba, PR. Disponível em: < <http://www.seab.pr.gov.br>> . Acesso em 01 de fev. 2010.

SILVA, F. de A. S., AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p 71-78, 2002.

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M.R.A. **Seja doutor do seu eucalipto**. Informações agronômicas, Piracicaba, n.93, p.1-31, 2001. (POTAFOS. Arquivo do Agrônomo, 12).

SMITH N.J.H. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. **Association American Geographers**, v. 70, p. 553–566, 1980.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A review of biochar and its use and function in soil (chapter 2). **Advances in Agronomy**. San Diego, v.105, p. 47-82, 2010.

SOMBROEK, W.G. Amazon soils: A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Wageningen, Center for **Agricultural Publication and Documentation**, Agricultural Research Report, v. 672, 292 p., 1966.

STEINER, C., TEIXEIRA, W. G., ZECH, W. Slash and Char: An Alternative to Slash and Burn Practiced in the Amazon Basin. In B. Glaser and W. I. Woods, editors. **Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time**. Springer Verlag, Heidelberg, 2004.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W.G.; LEHMANN, J.; NEHLS,T.; de MACEDO, J. L.V.; BLUM, W. E. H.; ZECH, W. Long term effects of manure, charcoal, and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil, **Plant and Soil**, vol 291, p. 275–290, 2007.

TOPOLIANTZ, S.; PONGE, J.; BALLOF, S. Manioc peel and charcoal: a potential organic amendment for sustainable soil fertility in the tropics. **Biology and Fertility of Soils**, v.41, p.15-21, 2005.

TROEH, F.R.; THOMPSON, L.M. **Solos e fertilidade do solo**. São Paulo: Andrei,2007, 718p.

TRYON, E.H. Effects of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils. **Ecologic Monografic**, 18:81-115, 1948.

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

VIEIRA, L. S. **Manual da ciência do solo**. São Paulo, Ed. Agrônômica Ceres, 1975.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. A.; FRANKEN W. K.; FONSECA, R. C. B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 793-800, 2004.

WARNOCK, D.D.; LEHMANN, J.; KUYPER, T.W.; RILLIG, M.C. Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms. **Plant Soil**, v.300, p. 9–20, 2007.

WOODS, W. I.; GLASER, B. Towards an Understanding of Amazonian Dark Earths. In Woods, W. I.; Glaser, B. **Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time**, 2004. pp. 1-8. Springer-Verlag, Berlin.