



DANIELI LAZARINI DE BARROS

**CARACTERIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE
BIOCARVÃO PROVENIENTE DE RESÍDUO
MADEIREIRO NA PRODUÇÃO DE MUDAS
FLORESTAL, FRUTÍFERA E A CAMPO DE
TECA (*Tectona grandis* L.f.)**

**LAVRAS - MG
2017**

DANIELI LAZARINI DE BARROS

**CARACTERIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE BIOCÁRVÃO
PROVENIENTE DE RESÍDUO MADEIREIRO NA PRODUÇÃO DE
MUDAS FLORESTAL E FRUTÍFERA E A CAMPO DE TECA (*Tectona
grandis L.f.*)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos
Orientador
Dra. Fabiana Abreu de Rezende
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha
Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Barros, Danieli Lazarini de.

Caracterização e utilização de biocarvão proveniente de resíduo
madeireiro na produção de mudas florestal e frutífera e a campo de teca
(*Tectona grandis* L.f.) / Danieli Lazarini de Barros. - 2017.

104 p.

Orientador(a): Alessandro Torres Campos.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Pirólise. 2. Carbono pirolítico. 3. Pó de serra. I. Campos,
Alessandro Torres. . II. Título.

DANIELI LAZARINI DE BARROS

**CARACTERIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE BIOCARVÃO
PROVENIENTE DE RESÍDUO MADEIREIRO NA PRODUÇÃO DE
MUDAS FLORESTAL E FRUTÍFERA E A CAMPO DE TECA (*Tectona
grandis* L.f.)**

**CHARACTERIZATION AND UTILIZATION OF BIOCHAR COMING
FROM RESIDUES IN THE PRODUCTION OF FOREST AND FRUIT
SEEDLINGS (*Tectona grandis* L.f.) IN TECA FIELD**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 03 de agosto de 2017.

Dra. Fabiana Abreu de Rezende	EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL
Dr. Tadayuki Yanagi Junior	UFLA
Dr. Antônio Carlos Neri	UFLA
Dr. Pedro Luiz Terra Lima	UNILAVRAS

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos
Orientador

Dra. Fabiana Abreu de Rezende
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2017**

*A minha mãe, Maria José Lazarini, por todo
apoio, ensinamentos, conselhos, incentivos e fé a
mim dedicados.*

Ofereço.

A Deus,

*por iluminar meus caminhos e por ter concedido saúde e, principalmente,
sabedoria para superar os momentos difíceis dessa longa jornada.*

Ao meu esposo, Plínio Henrique Oliveira Gomide.

Aos meus filhos, Júlia Lazarini Oliveira Gomide e João Vitor Lazarini Gomide

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela iluminação e pela vida.

Aos meus filhos amados, pelo carinho, amor e confiança.

Ao meu esposo, pelo amor, carinho, paciência e compreensão em todos os momentos.

A minha mãe, pelos valiosos ensinamentos e inúmeras orações que guardam a família.

Aos meus irmãos, Daniel, Danúbia e afilhada Giovanna, pelo apoio, conversas, amizade, e por sempre acreditarem em mim.

Ao meu pai, Sidney Teixeira de Barros, pela confiança e amizade.

A toda família de meu esposo, pela confiança depositada em mim.

Especial agradecimento à Dra. Fabiana Abreu de Rezende, pela oportunidade concedida, ensinamentos, ideias, orientação e, acima de tudo, pela amizade.

Especial agradecimento ao professor Dr. Alessandro Torres Campos, pelas conversas e conhecimentos transmitidos.

Aos professores Tadayuki, Antônio Carlos Neri e Pedro Luís Terra Lima, pela participação na banca e pelas sugestões que muito contribuíram para a melhoria do trabalho.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo auxílio, apoio, disponibilidade e ajuda prestada.

Aos pesquisadores da Embrapa, Cláudia Maia, Etelvino Novotny e Wenceslau Teixeira, pelos conhecimentos transmitidos.

À funcionária Hellem Cristina, pela paciência em solucionar todas as minhas dúvidas.

Aos amigos Ricardo Peruano e Vânia Mota, pelas valiosas conversas e auxílio nas análises, e à Tatiana, pela disponibilidade em ajudar nas coletas de campo.

A toda a equipe de campo e de laboratório da Embrapa Agrossilvipastoril que foram essenciais para realização deste trabalho.

Aos demais professores, técnicos e colegas do DEG/UFLA.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do doutorado; à CAPES, pela concessão da bolsa e à FAPEMAT, Embrapa Agrossilvipastoril, pelo financiamento deste estudo.

Ao Instituto Federal de Roraima, câmpus Novo Paraíso, pela liberação para cursar o doutorado.

OBRIGADA !!!

RESUMO GERAL

Os resíduos sólidos, quando depositados de maneira inadequada, podem ocasionar danos ambientais, com consequências, muitas vezes, irreversíveis, podendo acarretar impactos ambientais negativos, como a contaminação de meio ambiente e provocar problemas na saúde de humanos e de outras espécies animais e vegetais. Existem inúmeras formas de processamento de resíduos. Dentre elas, destaca-se o método da pirólise de resíduos orgânicos para a obtenção de biocarvão e posterior utilização em sistemas agrícolas, como condicionador de solos, proporcionando melhorias nas suas características físicas, químicas e biológicas. Biochar, ou biocarvão, é um produto rico em carbono obtido a partir da decomposição térmica de materiais orgânicos em atmosfera com presença mínima ou ausência de oxigênio e com temperatura variando de 350 a 700°C, tendo seu uso como condicionador de solos. Portanto, os objetivos, neste trabalho, foram avaliar os efeitos do biocarvão e do biocarvão ativado como componentes de substratos em diferentes concentrações, na produção de mudas de eucalipto e de maracujá, no viveiro e caracterizá-los, física e quimicamente, e verificar seu desempenho em campo na produção de teca (*Tectona grandis* L.f.). O estudo foi realizado em duas etapas. O primeiro experimento foi realizado no viveiro florestal Flora Sinop e o segundo, no campo experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, de 2013 a 2017, ambos localizados em Sinop, estado de Mato Grosso. Foram avaliadas variáveis biométricas, como altura, diâmetro do coleto, número de folhas e matéria fresca e seca para as mudas de maracujá (*Passiflora edulis* Sims) e eucalipto (*Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*), em diferentes concentrações de substratos com biocarvão e biocarvão ativado. No ensaio a campo, avaliaram-se dados biométricos, como altura e diâmetro à altura do peito de teca, durante três anos. No primeiro ensaio, em viveiro para a produção de mudas, foi utilizado delineamento experimental em blocos ao acaso, constituindo, cada bandeja, um bloco, com 10 tratamentos e quatro repetições. Já no segundo ensaio, em campo, foram utilizados seis tratamentos com quatro repetições, com 25 árvores avaliadas, totalizando 600 parcelas amostrais. O biocarvão tem características desejáveis para um bom substrato de mudas. Os resultados encontrados permitem concluir que o biocarvão age como condicionador de solos agrícolas, influenciando o incremento da produção no setor, além de resultar na destinação adequada de resíduos. Foi possível concluir que o processo de ativação do biocarvão apresentou os melhores resultados, tanto como substrato para a produção de mudas como no cultivo a campo de teca. O biocarvão é uma alternativa para o aproveitamento de resíduos madeireiros.

Palavras-chave: Pirólise. Carbono pirolítico. Pó de serra. Reaproveitamento de resíduos.

ABSTRACT

Improperly disposed solid wastes can cause environmental damage, with often irreversible consequences that can lead to negative environmental impacts, such as environmental contamination and human and other animal and plant health problems. There are numerous ways of processing waste. Among them, stands out the pyrolysis method of organic residues to obtain biochar and later used in agricultural systems, as a soil conditioner, providing improvements on physical, chemical and biological characteristics of soil. Biochar is a carbon-rich product obtained from the thermal decomposition of organic materials with minimal presence or absence of oxygen and temperature varying from 350 to 700°C and it's used as a soil conditioner. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the effects of biochar and activated biochar as a component of substrates, in different concentrations, in the production of eucalyptus (*Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*) and passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) seedlings in a plant nursery and to characterize them physically and chemically and, in addition, verify their field performance in Teak production (*Tectona grandis* L. f.). The study was carried out in two stages: the first experiment was carried out in the forest nursery Flora Sinop and the second in the experimental field at EMBRAPA Agrossilvipastoril, from 2013 to 2017. Both experiments were conducted in Sinop - Mato Grosso. Biometric variables such as height, stem diameter, leaf number, fresh and dry matter for passion fruit and eucalyptus seedlings were evaluated in different concentrations of substrates with biochar and activated biochar. In the field experiment, Teak biometric data such as height and diameter were evaluated for 3 years. In the first experiment, in a plant nursery, a randomized block experimental design was used, constituting, each tray, one block, with 10 treatments and four replications. In the second experiment, performed in the field, six treatments with four replications were used, with 25 trees evaluated, totaling 600 sample plots. Biochar has desirable characteristics for a good seedling substrate. Biochar acts as a soil conditioner on agricultural soils, influencing the increasing production, besides to enable adequate waste disposal. In conclusion the activated biochar presented the best results both as a substrate for seedling production and in Teak on field cultivation. Biochar is an alternative to residues fate.

Keywords: Pyrolysis. Pyrolytic carbon. Sawdust. Reuse of waste.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

- Figura 1 - Retirada do pó de serra das pilhas de resíduo em Sinop, MT.24
- Figura 2 - Reator de pirólise horizontal para produção do biocarvão ativado.24
- Figura 3 - Reator de pirólise vertical para a produção do biocarvão.25
- Figura 4 - Croqui do espaçamento utilizado no plantio de teca.35
- Figura 5 - Croqui do delineamento amostral do plantio de teca detalhando a distribuição dos tratamentos.39

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

- Figure 1 - Types of substrate.53
- Figure 2 - A - number of leaves; B - height; C - stem diameter; D - DQI after 60 days.57

ARTIGO 2

- Figure 1 - Ordering diagram of the Principal Component Analysis of the 10 types of substrates used. Biochar and Activated Biochar at doses 25, 50, 75 and 100 (B25, B50, B75, B); (AB25,AB50,AB75,AB), the commercial substrate (CS) and nursery substrate (NS) with themorphological parameters of the eucalyptus seedlings – stem diameter, height, Quality Index Dickson (QID) and total dry biomass (TDB), total fresh biomass and leaf analysis (N, P, K +, Ca 2+, Mg 2+, S, Na +). ...79

ARTIGO 3

- Figura 1 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura do biocarvão em diferentes tamanhos, (A) 200 μm e (B) 40 μm92
- Figura 2 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura do biocarvão ativado em diferentes tamanhos (C) 200 μm e (D) 40 μm93
- Figura 3 - Crescimento médio de teca ao longo dos dias DAP - Diâmetro à altura do peito (cm) e altura total (m) para teca.99

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1 -	Propriedades físicas dos substratos.	27
Tabela 2 -	Composição dos tratamentos.	28
Tabela 3 -	Caracterização química do solo da área cultivada com teca.	34
Tabela 4 -	Caracterização química do biocarvão e biocarvão ativado.	37
Tabela 5 -	Caracterização física do biocarvão e biocarvão ativado	37

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

Table 1 -	Physical properties of the substrates.	54
Table 2 -	Fresh and dry root biomass, stem and leaves; total fresh biomass and total dry biomass of passion fruit seedlings in relation to substrates. FB – fresh biomass, DB – dry biomass, NS – nursery substrate, CS – comercial substrate, AB – activated biochar, B – biochar	56

ARTIGO 2

Table 1 -	Substrate composition.	73
Table 2 -	physical characteristics of the substrate.	73
Table 3 -	Height (H), stem diameter, total fresh biomass (TFM), total dry biomass (TDB), QID and number of leaves (leaves) of eucalyptus seedlings as a function of substrates (SUB).	75
Table 4 -	Analysis of macronutrients of aerial part of <i>Eucalyptus</i> seedlings as a function of substrates	77

ARTIGO 3

Tabela 1 -	Caracterização química do solo da área cultivada com teca.	90
Tabela 2 -	Caracterização química do biocarvão e biocarvão ativado.	96
Tabela 3 -	Caracterização física do biocarvão e biocarvão ativado.	96
Tabela 4 -	Desdobramento de tratamento dentro de cada nível de período. .	98

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE.....	12
1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Resíduos florestais	16
2.2	Origem do biocarvão.....	18
2.3	Produção e usos do biocarvão	20
3	Material e métodos	23
3.1	Localização da área e dados climáticos	23
3.2	Produção do biocarvão	23
3.3	Caracterização física e química do biocarvão.....	26
3.4	Teste como substrato de espécie frutífera	29
3.5	Teste como substrato de espécie florestal.....	31
3.6	Experimentono campo	32
4	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	40
	REFERÊNCIAS	41
	SEGUNDA PARTE- ARTIGOS	47
	ARTIGO 1 - BIOCHAR OF SAWDUST ORIGIN IN PASSION FRUIT SEEDLING PRODUCTION.....	47
	ARTIGO 2 - SEEDLINGS OF EUCALYPTUS CULTIVATED WITH ACTIVATED BIOCHAR IN THE NURSERY.....	66
	ARTIGO 3 - CARACTERIZAÇÃO E USO DO BIOCARVÃO DE RESÍDUO MADEIREIRO NO DESEMPENHO DE <i>TECTONA GRANDIS</i> L.F. NO MATO GROSSO.....	84

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos, quando depositados de maneira inadequada no meio ambiente, podem ocasionar danos ambientais, com consequências, muitas vezes, irreversíveis, podendo acarretar impactos ambientais negativos que vão desde a imobilização de nutrientes por microrganismos, à contaminação do solo e de reservas hídricas e à emissão de gases de efeito estufa, além de provocar impactos diretos na saúde humana e na de outras espécies, vegetais ou animais.

A questão dos resíduos sólidos envolve a escassez de áreas adequadas para a destinação final do lixo, de educação ambiental para priorizar a redução do consumo e a necessidade de pesquisas que desenvolvam métodos para o tratamento adequado para a sua disposição final no meio ambiente.

Existem inúmeras formas de processamento de resíduos visando à sua estabilização. Dentre elas, destaca-se o método da pirólise de resíduos orgânicos para a obtenção de biocarvão e posterior utilização em sistemas agrícolas, como condicionador de solos, proporcionando melhorias nas suas características físicas, químicas e biológicas e resultando em benefícios aos cultivos agrícolas (GRAY et al., 2014; LEHMANN et al., 2011).

Biochar, ou biocarvão, é um produto rico em carbono, obtido a partir da decomposição térmica de materiais orgânicos em atmosfera, com presença mínima ou ausência de oxigênio e temperatura variando de 350 a 700°C, cujo uso principal é como condicionador de solos (LEHMANN, 2009). Praticamente qualquer fonte de biomassa pode ser carbonizada (MAIA; SOHI, 2010).

Os mecanismos que explicam os efeitos da adição de biocarvão ao solo estão ligados às características peculiares do biocarvão, que variam de acordo com a matéria-prima e as condições de produção (temperatura de pirólise, tempo

de residência no forno e taxa de aquecimento), as condições de solo (textura, matéria orgânica e pH) e as condições climáticas (temperatura e umidade) (JOSEPH et al., 2010).

O biocarvão pode representar uma contribuição significativa no controle da contaminação do solo e de recursos hídricos e do sequestro de carbono no solo (FIGUEIREDO et al., 2017), além de ser uma alternativa na gestão de resíduos sólidos, por dar destinação correta aos resíduos por meio do aproveitamento da biomassa, tanto nos solos como na forma de componente de substratos.

O biocarvão pode ser descrito como material carbonáceo e rico em carbono pirogênico. Sua estrutura varia de acordo com as características do processamento a que for submetido durante o processo de pirólise. O material é conhecido por sua estabilidade química, entretanto, quando sofre ação do clima ou, ainda, de processos físico/químicos de ativação, apresenta-se como material altamente poroso (DOWNIE; CROSKY; MUNROE, 2009; HAMMES; SCHMIDT, 2009).

Os processos de ativação agem na desobstrução dos poros da superfície, aumentando a superfície específica e o número de poros do material final. Esta característica influencia o aumento do desenvolvimento de cargas em sua superfície. Estas cargas podem ser originadas das reações químicas que acontecem no solo ou, ainda, durante o processo de pirólise, fator este que irá aperfeiçoar as propriedades do biocarvão como condicionador de solo, podendo ser obtido por diferentes métodos de tratamento que aumentam a sua capacidade de adsorção (ZHANG et al., 2013).

O biocarvão apresenta características apropriadas para ser aplicado ao solo ou ser utilizado como substrato para a produção de mudas, pois apresenta estrutura porosa e reativa, além de adequadas propriedades físico-hídricas (LEHMANN et al., 2011; VERHEIJEN et al., 2010). Ele aumenta a retenção de

água e a aeração, condicionando um ambiente mais favorável ao desenvolvimento das mudas (SOUZA et al., 2006).

A busca por novos substratos para a produção de mudas é de grande importância para a evolução do setor de viveiros, uma vez que eles são fundamentais para o desenvolvimento das plântulas.

Portanto, os objetivos, neste trabalho, foram avaliar os efeitos do biocarvão e do biocarvão ativado como componentes de substratos, em diferentes concentrações, na produção de mudas de eucalipto e de maracujá, no viveiro, e caracterizá-los física e quimicamente, além de verificar seu desempenho em campo na produção de *Tectona grandis* L.f.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Brasil é o quinto maior país do mundo, em geografia e muitas vezes, é ignorado em questões econômicas e ambientais, quando comparado aos gigantes econômicos atuais e potenciais, como Índia e China (JABBOUR; JABBOUR; GOVINDAN, 2014). Como uma economia em desenvolvimento, o Brasil não está imune a um problema ambiental e global que é a geração de resíduos sólidos.

Em 2011, a população brasileira gerou 61,9 milhões de toneladas de resíduos sólidos. Além do crescimento desse tipo de resíduos, sua disposição também é uma preocupação, uma vez que 42% do total de resíduos sólidos coletados em 2011 teriam sido descartados de forma inadequada (ALBUQUERQUE, 2012) e parte dessa disposição de resíduos ocorre nas regiões mais ecologicamente sensíveis do mundo (JABBOUR; JABBOUR; GOVINDAN, 2014).

Diante dessa situação ambiental cada vez mais visível, foi promulgada a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos (BRASIL, 2010).

Os resíduos sólidos são classificados, quanto à origem, em resíduos domiciliares, de limpeza urbana, sólidos urbanos, de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, serviços públicos de saneamento básico, industriais, saúde, da construção civil, agroindústria, serviços de transportes e resíduos de mineração. Os resíduos da agroindústria e florestais constituem a principal fonte de biomassa no Brasil e cerca de 597 milhões de toneladas de resíduos por ano são produzidos a partir das principais culturas, como soja,

milho, cana-de-açúcar, arroz, mandioca, cítrus e resíduos oriundos das atividades florestais (FERREIRA-LEITAO et al., 2010).

Esses resíduos são matéria-prima local para diversas utilidades, como compostagem e utilizados como fertilizantes orgânicos e carbonizados para a geração de energia e para a produção de biocarvão, um importante condicionador de solos.

2.1 Resíduos florestais

Os resíduos florestais são considerados heterogêneos devido às variedades em que se apresentam (como sobras de madeira, com ou sem casca, os galhos grossos e finos, as folhas, os tocos, as raízes, a serrapilheira e a casca), às diversas granulometrias da serragem e às diversas condições de armazenamento (FONTES, 1994).

A produção de resíduos florestais no Brasil é estimada em 38,6 milhões de toneladas (matéria seca) por ano, sendo 59% resíduos de campo e 41% resíduos industriais. As florestas nativas e plantadas contribuem com 51% e 49%, respectivamente (FERREIRA-LEITAO et al., 2010).

De acordo com o Inventário Florestal Brasileiro (Inventário Florestal Nacional), pequenos pedaços de madeira, incluindo a casca de árvore, são os principais resíduos obtidos da indústria florestal, correspondendo a 71% do total de resíduos. O pó de serra é o segundo, representando 22%. Além disso, ocorrem grandes desperdícios quando a madeira é processada para a fabricação de móveis. Em alguns casos, até 80% de uma árvore são perdidos (BRITO, 1995).

A região norte do estado de Mato Grosso é caracterizada como zona madeireira, apresentando aglomerado de polos madeireiros com produção significativa para a região e o estado. O município de Sinop respondeu, no ano

de 2009, por, aproximadamente, 20% de todos os empreendimentos madeireiros do estado (INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE - IMAZON, 2010).

A exploração nativa de madeira em tora, em 2015, no estado do Mato Grosso, foi de 3.069.198 m³ (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2015). Considerando-se 50% de aproveitamento, esse total pode gerar cerca de 1.534.599 m³ de resíduos aptos para o processamento. Ao se considerar a pirólise lenta com aproveitamento de 30%, podem-se obter 460.379,7 m³ de biocarvão. Biasi (2005) afirma que a indústria madeireira tem considerado os resíduos como subprodutos problemáticos do processamento da madeira, dispondo-os, após a proibição da queima, em aterros (entulho ou lixões).

De forma semelhante, os estados do norte do país apresentam exploração madeireira acentuada e não há políticas públicas para o aproveitamento desses resíduos que, na maioria das vezes, são abandonados como entulho, resultando em material passível de incêndio espontâneo ou de origem criminoso.

Estas regiões se deparam com uma situação que precisa ser resolvida, pois, após a proibição da queima dos resíduos, sem nenhum monitoramento, todo o montante vem sendo acumulado em enormes pilhas de rejeito que se transformaram em grandes passivos ambientais, necessitando, com urgência, de destinação adequada. Assim, formas adequadas de disposição final de resíduos são desejáveis e, muitas vezes, benéficas, já que este material orgânico é originalmente proveniente de áreas agrícolas ou florestais e, portanto, o retorno desses materiais para essas áreas é de grande importância.

Grandes benefícios sociais e ambientais poderiam ser alcançados se fosse levada em consideração a disponibilidade de resíduos produzidos de acordo com a região, como a geração de emprego no seu processamento, além de serem matéria-prima para outras atividades lucrativas.

Existem várias opções para o aproveitamento dos resíduos lignocelulósicos. Como exemplos pode-se citar a sua utilização como camas em granjas, nas indústrias de painéis de madeira reconstituída, na compostagem, na geração de energia pela queima direta, na produção de combustível sólido (carvão vegetal) ou na transformação dos resíduos em briquetes, entre outras possibilidades (QUIRINO, 2003).

2.2 Origem do biocarvão

Na década de 1870, pesquisadores viajaram pela Amazônia e observaram manchas profundas de solo escuro, muito fértil, diferentes dos solos pobres existentes em quase toda a região. Esses solos estão associados a antigas civilizações indígenas (MANGRICH; MAIA; NOVOTNY, 2011).

Na América do Sul, pesquisadores encontraram esses solos que vão desde os Andes até a Ilha de Marajó, no estado do Pará, denominados Terra Preta de Índio (TPI), cuja coloração vai do marrom-escuro ao preto. As TPIs são solos com horizonte A antrópicos, que se formaram a partir da deposição de resíduos orgânicos, provenientes das tribos indígenas. O conteúdo da matéria orgânica e a coloração escura da maioria das TPIs são o resultado da combinação da adição de resíduos orgânicos com a queima deles ou somente pela queima (WOODS; MCCANN, 2001).

Os solos das TPIs foram cultivados pela população nativa e a existência de TPIs prova que os Latossolos de baixa fertilidade podem, em princípio, ser transformados em solos férteis. Contudo, essa transformação não foi alcançada apenas pela deposição de suprimento de nutrientes minerais, mas da adição de carbono estável sob a forma de carvão (STEINER et al., 2007).

A atividade humana no passado pré-colombiano resultou na acumulação pontual de resíduos vegetais e animais, bem como grandes quantidades de

cinzas, carvão vegetal e vários elementos químicos, como P, Mg, Zn, Cu, Ca, Sr e Ba. Essas acumulações, provavelmente, contribuíram decisivamente para a formação de solos férteis, com maior pH, Ca, Mg, Pe saturação de base, em comparação com os solos não antropogênicos adjacentes (NOVOTNY et al., 2009).

Uma característica importante de TPIs é que de 35% a 45% do carbono orgânico estão na forma de carbono pirogênico, comparados a 14% em solos sem horizonte A antrópico (GLASER et al., 2000). O carbono pirogênico, pela sua natureza (particulada, livre, protegida e em complexos organo-minerais), indica a sua importância na formação das propriedades físicas do solo (estruturação, retenção de água, etc.), que contribuem para a sua fertilidade (CUNHA et al., 2007).

O carbono pirogênico nem sempre ocorre de forma intencional e não se restringe à TPI. Há relatos históricos da ocorrência desse carbono em áreas onde ocorre a queima da vegetação, natural ou antrópica, em que ele é um componente importante da matéria orgânica das savanas brasileiras ("cerrado") (ROSCOE et al., 2001).

O carvão apresenta grupos aromáticos condensados que garantem a sua natureza recalcitrante, o que permite sequestrar carbono nos solos, além de ser resistente à degradação ao longo do tempo, resultando em uma maior permanência deste no solo (ALHO et al., 2008; LEHMANN, 2007). As Terras Pretas não se esgotam rapidamente, mesmo nas condições tropicais a que estão expostas ou sob uso agrícola (MADARI et al., 2009).

Devido à sua fertilidade e à capacidade de reter carbono, as TPIs levaram pesquisadores, no Brasil e no exterior, a estudarem a produção de um fertilizante orgânico com capacidades semelhantes às suas (MANGRICH; MAIA; NOVOTNY, 2011). O produto obtido a partir dessas pesquisas é chamado de biocarvão (biochar), que se diferencia do carvão vegetal somente

pelo uso para o qual é destinado, para condicionar os solos e como substrato para mudas.

2.3 Produção e usos do biocarvão

Biocarvão é um produto rico em carbono obtido a partir da decomposição térmica de materiais orgânicos em atmosfera com presença mínima ou ausência de oxigênio e com temperatura variando de 350 a 700°C, utilizado como condicionador de solos (LEHMANN, 2009). Praticamente qualquer fonte de biomassa pode ser carbonizada (MAIA; SOHI, 2010).

A pirólise e a gaseificação são processos termoquímicos para a produção de biocarvão. Estes processos termoquímicos de conversão de biomassa podem ser realizados de formas diferenciadas, a depender do produto a ser obtido, e são, principalmente, influenciados pelo tempo de residência no reator, temperatura, matéria-prima e técnicas de ativação (INYANG; DICKENSON, 2015).

O rendimento do processo de pirólise pode variar de 12% a 35%, a depender do reator utilizado e do processo que o mesmo produz, pirólise lenta ou rápida (BRIDGWATER, 1991).

A pirólise lenta ocorre com temperaturas que variam de 350 a 800°C, com o tempo de residência no reator variando de minutos a dias. Este processo favorece o maior rendimento de biocarvão (30%) do que a pirólise rápida (12%) ou a gaseificação (10%).

A pirólise rápida difere da pirólise lenta, principalmente, pelo seu curto tempo de residência, menor que 2 segundos, à temperatura de 425-550°C. Porém, os dois processos ocorrem sem a presença de O₂.

A gaseificação é um processo de ativação física utilizada tipicamente para aumentar a porosidade e a área superficial do biocarvão. Ela ocorre a

temperaturas maiores que 800°C, de segundos a horas, com a presença de O₂, podendo ou não injetar vapor ou CO₂ (INYANG; DICKENSON, 2015).

Os biocarvões produzidos pela gaseificação, dependendo da matéria-prima, podem exibir alto teor mineral (Mg, Ca, Si, K, P e N) e até 73% de cinzas (MANYÀ, 2012).

A composição do biocarvão pode ser, basicamente, dividida em carbono recalcitrante, carbono lábil e cinzas. A diferença entre o biocarvão e outras matérias orgânicas é a maior proporção de C aromático e fusão de estruturas aromáticas. A estrutura aromática condensada dos biocarvões pode variar de acordo com a temperatura de pirólise e conferir a ele maior estabilidade (NOVOTNY et al., 2009; SCHMIDT; NOACK, 2000).

As estruturas aromáticas condensadas presentes no biocarvão garantem a sua recalcitância no solo e, portanto, é um eficiente material para o sequestro de carbono, variando de décadas e milênios (LEHMANN, 2007).

O biocarvão, devido à sua área superficial negativa, tem a capacidade de reter e trocar cátions. Ao longo do tempo, os grupos carboxílicos formados na superfície do biocarvão, parte aromática, aumentam a capacidade de retenção de nutrientes e permitem, assim, a melhoria da produtividade de solo até a redução da lixiviação de nutrientes (GLASER et al., 2001; LIANG et al., 2006).

Em estudos realizados por Lehman et al. (2003) em solos da Amazônia demonstrou-se que as adições de carvão aumentaram significativamente o crescimento e a nutrição das plantas, diminuíram a lixiviação do fertilizante aplicado, bem como o adiamento da lixiviação de Ca e Mg.

Sun et al. (2016) avaliaram os efeitos das doses de biochar produzido a partir de palha de trigo, de haste de milho e da casca de amendoim em *Sueda salsa* (*S. salsa*) em solo salino e verificaram que o rendimento de *S. salsa* aumentou de 11,7% para 115%, sob aplicação de biocarvão de palha de trigo com 5-10 g.kg⁻¹. À medida que se aumentou a dose para 20 g.kg⁻¹, o incremento

diminui para 102% e o biocarvão de haste de milho aumentou o conteúdo de fósforo disponível. Os autores relatam que a aplicação de biocarvão melhorou a qualidade do solo salino e aumentou o crescimento das plantas, embora esses efeitos devessem ser testados a longo prazo.

Yakout (2017) pirolizou a palha de arroz em três temperaturas (400, 500, 600°C) e verificou que, à medida que se aumentou a temperatura de pirólise, o teor de cinzas, o rendimento, a acidez e o teor total de hidrogênio e oxigênio diminuíram e aumentaram a perda de celulose e o conteúdo de minerais. Os resultados recomendam que a alta temperatura de pirólise do biocarvão tem maior potencial para sequestro de carbono no solo.

Rezende et al. (2016) utilizaram doses de biocarvão e biocarvão ativado no substrato para avaliar o desenvolvimento de mudas clonais de *Tectona grandis* L.f. e verificaram que os substratos contendo biocarvão ativado proporcionaram melhorias nas propriedades físicas de densidade e retenção de água. As mudas formadas em substrato contendo BA apresentaram parâmetros de desenvolvimento e qualidade superiores aos das mudas cultivadas em substrato comercial.

Os biocarvões são diferentes e devem ser utilizados de acordo com suas características especiais para uso em condições ambientais ou agronômicas específicas e seus potenciais benefícios, quando aplicados ao solo, são influenciados pelo material de origem e pela técnica de processamento utilizada (MYLAVARAPU et al., 2013; SPOKAS; NAIR; MORGAN, 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área e dados climáticos

O estudo foi realizado no viveiro florestal Flora Sinop e o ensaio em campo na Embrapa Agrossilvipastoril, nos anos de 2013 a 2017, ambos localizados em Sinop, Mato Grosso, a 384m de altitude, latitude sul de 11°51' e longitude oeste de 55°30'. A temperatura média anual é de 24,0 °C, a precipitação pluvial anual é de 1.900 mm e a umidade relativa do ar varia entre 35% a 80%, durante o ano (SOUZA; CASAVECCHIA; STANGERLIN, 2012).

3.2 Produção do biocarvão

O resíduo (pó de serra de espécies nativas) foi obtido em empreendimento madeireiro localizado em Sinop (Figura 1) e levado para ser carbonizado no município de Mogi Mirim, SP, na empresa SSPT Pesquisas Tecnológicas Ltda.

Para a obtenção do biocarvão processou-se o pó de serra em reator de pirólise lenta (forno vertical), com 25 minutos de residência no forno, a 450°C. Para a obtenção do biocarvão ativado foi necessário aumentar a temperatura do reator de pirólise (forno tubular horizontal) para 650°C e injetar vapor de água durante o processo. O tratamento de ativação foi realizado no intuito de eliminar resíduos do processo de pirólise, desobstruir os poros do biocarvão e disponibilizar radicais orgânicos na superfície do carvão (Figuras 2 e 3).

Figura 1 - Retirada do pó de serra das pilhas de resíduo em Sinop, MT.



Fonte: Rezende (2014).

Figura 2 - Reator de pirólise horizontal para produção do biocarvão ativado.



Fonte: Rezende (2014).

O biocarvão produzido retornou para Sinop em tambores de 1.000L, para caracterização e utilização nos ensaios (Figura 3).

Figura 3 - Reator de pirólise vertical para a produção do biocarvão.



Fonte: Rezende (2014).

O rendimento do reator resultou em 20% de produção de biocarvão, quando considerada a matéria-prima (pó de serra).

No ensaio foram estimadas 2 t da biomassa carbonizada, levando em consideração o somatório das diferentes fontes (com ativação e sem ativação) que foram aplicadas.

3.3 Caracterização física e química do biocarvão

Caracterizou-se o biocarvão com o objetivo de verificar características desejáveis para um bom substrato de produção de mudas, como baixa densidade, aeração, umidade, pH e, ainda, possuir adequado equilíbrio entre seus constituintes.

O substrato comercial (SC), o substrato do viveirista (SV), o biocarvão (B) e o biocarvão ativado (BA) foram caracterizados fisicamente, por meio da densidade (aparente e real) e da porosidade total.

A densidade aparente (D_a) foi determinada mediante preenchimento de tubete cônico com a formulação de cada substrato. A massa da quantidade de substrato (seco em estufa, a 60°C) necessária para preencher cada recipiente foi obtida e o volume dos tubetes determinados previamente com auxílio de bureta graduada com 0,5 ml de precisão. Com os valores de massa e volume procedeu-se ao cálculo da densidade aparente (Equação 1).

$$D_a = \frac{\text{Massa Seca (g)}}{\text{Volume do tubete (cm}^3\text{)}} \quad \text{Eq. 1}$$

A densidade de partículas (D_p), ou densidade real, foi obtida mediante determinação de volume de álcool (96%) gasto para completar um balão volumétrico contendo o substrato seco em estufa (Eq2).

$$D_p = \frac{\text{Massa Seca (g)}}{\text{Volume do balão (cm}^3\text{)} - \text{Volume de álcool gasto (cm}^3\text{)}} \quad \text{Eq. 2}$$

$$Pt = \left(1 - \frac{Da}{Dp}\right) \times 100 \quad \text{Eq. 3}$$

$$P60\% = (Pt \times 60) / 100 \quad \text{Eq. 4}$$

O volume total de poros (Eq. 3) foi determinado segundo expressão preconizada por Danielson e Sutherland (1986) e a distribuição de poros por tamanho foi determinada utilizando-se unidade de sucção, com 60 cm de altura de coluna de água, para a separação de macro e microporos (Eq. 4). O volume de água retido nas amostras após o equilíbrio foi relacionado à microporosidade, sendo a macroporosidade obtida por diferença (OLIVEIRA, 1968).

As características físicas dos substratos estão demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades físicas dos substratos.

Substratos	Densidade real(g.cm ⁻³).....	Densidade aparente	Porosidade %
SC	1,16	0,47	59
SV	1,02	0,15	85
BA	1,67	0,24	85
B	1,27	0,31	75

Substrato comercial (SC), substrato do viveirista (SV), biocarvão (B) e biocarvão ativado (BA)

Fonte: Da autora (2017).

Os substratos utilizados no experimento com espécie frutífera (maracujazeiro) e florestal (eucalipto) foram homogeneizados em betoneira elétrica e procedeu-se à adição de fertilizantes químicos de liberação lenta para todos os tratamentos (225g Basacote[®] 6M; 225g Basacote[®] 3M e 600g FH Eucalipto Heringer[®] para cada 150 L de substrato). A composição do Basacote[®]

6M e do Basacote[®] 3M é 16-08-12 de NPK, contendo Mg, 2%; S, 5%; Fe, 0,4%; B, 0,02%; Zn, 0,02%; Cu, 0,05% e Mn, 0,06%. A composição do FH Eucalipto Heringer[®] é 4-31-4 de NPK, contendo Zn, 0,4% e Co, 22% (Tabela 2).

Tabela 2 - Composição dos tratamentos.

Tratamentos	Composição dos substratos
SC	pinus e vermiculita (4:1, m/m) (Mec Plant [®])
SV	50% de SC e 50% de casca de arroz carbonizada com fibra de coco (1:1, m/m)
BA25	25% de BA com 75% de SC
B25	25% de B com 75% de SC
BA50	50% de BA com 50% de SC
B50	50% de B com 50% de SC
BA75	75% de BA com 25% de SC
B75	75% de B com 25% de SC
BA	100% de BA
B	100% de B

SC – substrato comercial; SV substrato do viveirista; BA – biocarvão ativado; B – biocarvão.

Fonte: Da autora (2017).

Determinaram-se as frações granulométricas de cada substrato com peneiras (4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125 mm), em que 100 g de substrato seco em estufa (60°C) foram submetidos à vibração mecânica por 5 minutos.

Para a obtenção dos grupos carboxílicos as amostras foram pré-tratadas conforme Tschansky e Graber (2014), para a remoção de material adsorvido (alcatrão). Após o pré-tratamento, as amostras foram equilibradas com as soluções de NaHCO₃, NaCO₃ e NaOH, seguindo o procedimento descrito por Fidel (2012). Os resultados desta caracterização foram 10% fenol, 40% lactose, 50% grupamentos carboxílicos e, para o biochar, 49% fenol, 21% lactose e 30% grupamentos carboxílicos. Estas análises foram realizadas em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão, localizada em Santo Antônio de Goiás, Goiás.

As amostras de biocarvão e biocarvão ativado produzidos foram enviadas ao Inmetro para a obtenção de imagens por meio da microscopia eletrônica de varredura.

3.4 Teste como substrato de espécie frutífera

O experimento foi conduzido no viveiro de mudas localizado em Sinop, MT, nas coordenadas 11° 52' 23" Sul, 55° 29' 54" Oeste, e altitude de 384 m, realizado de maio a julho de 2013. O clima da região é tropical com estação seca do tipo Aw, de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). A temperatura média anual é de 24,0 °C, a precipitação pluvial anual é de 1.900 mm e a umidade relativa do ar varia entre 35% a 80%, durante o ano (SOUZA; CASAVECCHIA; STANGERLIN, 2012).

As mudas foram produzidas pela semeadura da cultivar de maracujá BRSGA1 – Gigante Amarelo (*Passiflora edulis* Sims), em tubetes. Os recipientes utilizados foram tubetes cônicos de 12 cm de comprimento e 50 cm³ de capacidade. Foram semeadas três sementes por tubete, realizando-se o desbaste e deixando uma plântula por recipiente. Os tubetes foram mantidos em bandejas contendo 40 mudas cada, das quais apenas 10 plantas centrais foram avaliadas, evitando-se, dessa maneira, o efeito de borda.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, constituindo, cada bandeja, um bloco, com 10 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos utilizados estão descritos na Tabela 2.

O experimento foi conduzido por 60 dias. A altura foi medida com uma régua milimétrica posicionada na base do colo até o ápice da folha mais nova. O diâmetro do coleto foi aferido com um paquímetro digital de precisão (0,01mm). Após 60 dias as mudas foram retiradas para a determinação da massa fresca e seca da parte aérea e da raiz.

O material foi identificado, acondicionado em sacos e pesado em balança de precisão para a determinação da massa fresca da parte aérea e raiz. Após a pesagem, o material foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e secos em estufa de circulação forçada, a 65°C, por 72 horas, até obter peso constante. Em seguida, as amostras foram pesadas para a determinação da massa seca da parte aérea e raiz. As partes aéreas (folhas) foram moídas em moinho de facas tipo Willey e enviadas para análise foliar.

Para os parâmetros da fitomassa foi feito o cálculo do índice de qualidade de Dickson (IQD), que é apontado como bom indicador da qualidade de mudas, por considerar em seu cálculo a robustez e o equilíbrio da distribuição da fitomassa, sendo ponderados vários parâmetros importantes, tais como altura, coleto e matéria seca total (FONSECA et al., 2002). Foram determinadas, em função da altura da parte aérea, do diâmetro do coleto, a fitomassa seca da parte aérea dada pela soma da fitomassa seca do coleto e a fitomassa seca de folhas e da fitomassa seca das raízes, de acordo com a equação 5 (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960).

$$IQD = \frac{MST}{\frac{\text{altura}}{\text{colete}} + \frac{FSA}{FSR}} \quad \text{Eq. 5}$$

em que IQD: índice de qualidade de Dickson; MST: massa seca total (g); FSA: fitomassa seca da parte aérea (g); FSR: fitomassa seca radicular (g); altura (cm) e coleto (mm).

O experimento foi mantido em condições controladas, à temperatura de 30°C e umidade relativa do ar acima de 80%. As mudas foram irrigadas por aspersão duas vezes ao dia.

Os dados foram submetidos ao teste de média Scott-Knott, a 5% de probabilidade, pelo programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

3.5 Teste como substrato de espécie florestal

O experimento foi conduzido no viveiro de mudas localizado em Sinop, nas coordenadas 11° 52' 23" Sul, 55° 29' 54" Oeste e altitude de 384 m, durante os meses de maio a julho de 2013. O clima da região é tropical com estação seca do tipo Aw, de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). A temperatura média anual é de 24,0 °C, a precipitação pluvial anual é de 1.900 mm e a umidade relativa do ar varia entre 35% a 80%, durante o ano (SOUZA; CASAVECCHIA; STANGERLIN, 2012).

Para a produção das mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*), mini estacas com dimensões variando de 4 a 6 cm foram coletadas nos minijardins clonais e estaqueadas pelo método da miniestaquia. Como recipientes para as mudas foram utilizados tubetes de plástico com 53 cm³ de capacidade.

Aos 90 dias após o estaqueamento, foram realizadas as avaliações dos parâmetros morfológicos das mudas. A altura da parte aérea das mudas foi mensurada com auxílio de uma régua milimetrada posicionada em nível do substrato até o meristema apical da muda, enquanto o diâmetro do coleto foi medido com paquímetro digital de precisão de 0,01 mm.

O material vegetal foi dividido em parte aérea (folhas e caule) e raiz, sendo o sistema radicular separado do substrato por meio de lavagem com água. Em seguida, o material foi acondicionado em sacos de papel e conduzido à estufa com circulação forçada de ar, a 65°C, até atingir massa constante. Posteriormente, foi pesado em balança de precisão para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA), da massa seca das raízes (MSR) e da massa seca total (MST).

Com os valores de MSPA e MSR foi calculado o índice de qualidade de Dickson (IQD).

Da parte aérea, as folhas foram moídas em moinho de facas tipo Willey e enviadas para laboratório de análise foliar para a determinação de macronutrientes. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, constituindo cada bandeja um bloco, com 10 tratamentos e quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais.

As médias foram comparadas pelo teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade e os dados foram submetidos à análise dos componentes principais (ACP) para identificar quais parâmetros morfológicos e foliares correlacionaram com os substratos analisados. Os programas utilizados foram o Info-Gen (2017) e SISVAR (FERREIRA, 2011).

O tratamento que se mostrou mais favorável ao desenvolvimento das mudas de eucalipto e o tratamento com 100% de substrato comercial fizeram parte do ensaio de teste em cultivo das mudas em campo.

3.6 Experimento no campo

O estudo foi realizado no campo experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, localizada na cidade de Sinop, MT, de maio de 2014 a junho de 2017, à altitude de 384 m e com a localização geográfica de 11° 52' 23" Sul, 55° 29' 54" Oeste. A temperatura média anual é de 24,0 °C, a precipitação pluvial anual é de 1.900 mm e a umidade relativa do ar varia entre 80% e 35%, durante o ano (SOUZA; CASAVECCHIA; STANGERLIN, 2012).

O solo da área experimental está classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, textura argilosa, horizonte A moderado e com relevo plano (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2013).

Coletou-se solo em área total, com o auxílio de um trado holandês, anteriormente à implantação do experimento, para a caracterização de macro e

micronutrientes (Tabela 3). Todas as amostras foram homogeneizadas, separadas, identificadas e enviadas ao laboratório de análise de solo da Embrapa Agrossilvipastoril para análise química.

Tabela 3 - Caracterização química do solo da área cultivada com teca.

Prof (cm)	pH H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	SB	CTC	P	K	Mn	Zn	Cu	S	B	Fe	V	MO
			Cmol.c.dm ⁻³mg.dm ⁻³				%	g . dm ⁻³
20	5,1	2,6	0,7	0,0	3,9	3,4	7,4	13	62	22,4	7,5	0,6	28,7	0,5	252	47,0	30,4
40	4,9	1,6	0,6	0,0	3,1	1,4	5,4	3,6	40	9,2	5,4	0,5	33,0	0,4	297	42,5	20,0
60	4,8	1,2	0,5	0,1	3,0	1,3	4,8	1,7	25	7,9	4,5	0,4	54,1	0,4	242	36,8	16,8

¹Metodologia de análise de solos (EMBRAPA, 2009). V: saturação por bases. CTC – capacidade de troca catiônica potencial. MO – matéria orgânica.

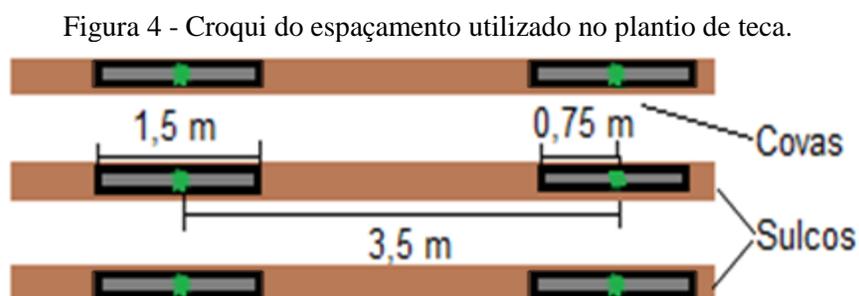
Foram utilizadas, para o plantio no campo, mudas provenientes de miniestacas de um clone de *Tectona grandis* L.f., comercialmente denominado Proteca A1. A seleção do clone foi de acordo com a sua relevância de utilização na região.

Aos 100 dias, as mudas de teca foram transplantadas do viveiro Flora Sinop para o campo experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, onde foram plantadas manualmente em sulcos.

Para o preparo do solo foram realizadas duas gradagens, na profundidade de 30 cm e houve a aplicação de corretivo. O fertilizante foi aplicado em cobertura, em covetas laterais em todos os tratamentos.

O replantio foi realizado 30 dias após o plantio. O controle de formigas e cupins foi realizado antes da implantação e durante a condução do experimento. O manejo da matocompetição foi realizado com capina manual e roçada mecanizada.

O experimento com teca foi implantado em uma área de 1,44 ha. O espaçamento utilizado foi de 3,5 x 3,5 m entre linhas e plantas, e o biocarvão foi aplicado e incorporado no sulco a uma distância de 75 cm para cada lado do local de plantio da muda (Figura 4).



Fonte: Rezende (2014).

Amostras de B e BA foram coletadas e enviadas aos laboratórios da Embrapa Agrossilvipastoril para caracterização química e física e são apresentadas nas Tabelas 4 e 5. Os protocolos analíticos utilizados foram os recomendados pelo International Biochar Initiative (IBI) (*Standardized product definition and product testing guidelines for biochar*).

Tabela 4 - Caracterização química do biocarvão e biocarvão ativado.

BC	pH CaCl ₂	pH H ₂ O	Cinzas%.....	MO	Zn	Cu	Mn	Fe	P	K	Ca	Mg
					mg.kg ⁻¹g.kg ⁻¹		
B	4,7	5,2	95,6	4,4	20	16	63	775	0,2	0,8	3,2	0,1
BA	5,8	6,5	95,7	4,3	14	7	67	447	0,1	0,4	3,3	0,2
	C _{total}	C _{org}	H	N	S			Fenol	Lactose	GC		
%.....											
B	72,7	70,9	4,0	0,5	0,1			49	21	30		
BA	70,7	70,0	3,9	0,5	0,1			10	40	50		

BC – biocarvão; B- biocarvão não ativado; BA- biocarvão ativado; GC grupamentos carboxílicos.

Fonte: Da autora (2017).

Tabela 5 - Caracterização física do biocarvão e biocarvão ativado.

BC	U _{105°}	Cond	DP	Por.	Granulometria (%)					
	(g . g ⁻¹)	(μS . cm ⁻¹)	(g.cm ⁻³)	%	> 4mm	> 2mm	> 1mm	> 0,6mm	> 0,125mm	< 125mm
B	3,48	34,73	4,38	75	1,14	1,25	2,96	11,04	72,13	10,81
BA	5,54	23,18	2,62	85	0,80	1,72	3,10	16,30	71,41	6,31

BC – biocarvão; B- biocarvão não ativado; BA- biocarvão ativado; U – umidade; Cond – condutividade elétrica; DP – densidade de partículas; Por – porosidade.

Fonte: Da autora (2017).

Na implantação do experimento foram utilizados dois tipos de biocarvão, o ativado (BA) e o não ativado (B). As doses utilizadas foram de 2,5 kg . sulco⁻¹, para B e 0,6 kg . sulco⁻¹, para BA. As diferentes dosagens para os diferentes biocarvões foram calculadas com base na tendência em diminuir as doses de biocarvão aplicadas quando estes sofrem processos de melhoria. Neste estudo especificamente, BA trata-se de material que sofreu ativação. Este processo pode diminuir o tempo das reações deste condicionador de solo com os fatores físicos, químicos e biológicos do meio em que foi aplicado. Os tratamentos foram os seguintes:

- T1 - Muda sem biochar ativado (MsBA) + NPK;
- T2 - Muda com biochar ativado (McBA) + NPK;
- T3 - MsBa + biochar ativado (BA) no sulco + NPK;
- T4 - McBa + BA no sulco + NPK;
- T5 - MsBa + biochar (B) no sulco + NPK;
- T6 - McBa + B no sulco + NPK.

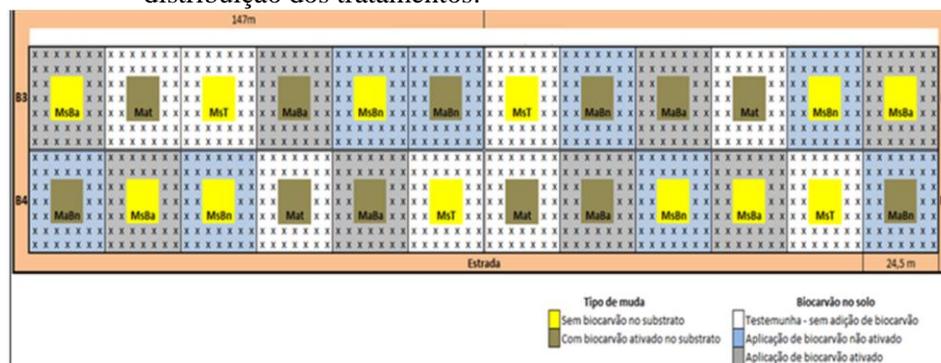
As avaliações de biometria, circunferência do caule e altura foram realizadas com um paquímetro e fita métrica, aos 30 e 250 dias após o plantio. Aos 790 e 1.120 dias avaliou-se a circunferência à altura do peito (CAP) com fita métrica e os dados foram transformados para diâmetro à altura do peito (DAP) pela equação $DAP = CAP/3,1415927$. Para a aferição da altura total (H_t) utilizou-se um laser HaglofVL5 Laser Class 1 da marca Haglof Sweden, sendo o *laser* apontado para o ápice das árvores de teca e realizada a aferição.

Aos dois anos após o plantio, amostras de solo foram coletadas com um amostrador hidráulico e uma broca helicoidal da marca SACI, acoplada a um quadriciclo que percorreu toda extensão das parcelas. Obtiveram-se amostras nas profundidades de 0-5, 5-15, 15-30 cm em área total, próximo à muda e na entrelinha. Todas as amostras foram homogeneizadas, separadas, identificadas e

enviadas ao laboratório de análise de solo da Embrapa Agrossilvipastoril para análise via combustão seca (analisador CHNS).

O experimento foi delineado em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas no tempo, representados por seis tratamentos, quatro blocos e 25 repetições, com 600 parcelas amostrais para análises de altura e circunferência do caule (Figura 5). Os dados de CHNS foram coletados aos 790 dias após o plantio, nos quatro blocos, com três repetições. Os dados foram submetidos ao teste de comparação de médias Scott-Knott, a 5% de probabilidade, com o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

Figura 5 - Croqui do delineamento amostral do plantio de teca detalhando a distribuição dos tratamentos.



Fonte: Rezende (2014).

4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A busca por novos substratos para a produção de mudas é de grande importância na evolução do setor de viveiros e o biocarvão apresenta características desejáveis para ser utilizado como componente de substrato para o desenvolvimento de mudas.

O biocarvão é uma alternativa para o reaproveitamento do pó de serra e pode ser utilizado em solos e na produção de mudas de espécies florestais e frutíferas.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, F. **42 % dos resíduos sólidos coletados no país vão para locais inadequados, indica estudo**. 2012. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2012-05-08/42-dos-residuos-solidos-coletados-no-pais-vaio-para-locais-inadequados-indica-estudo>>. Acesso em: 28 jun. 2017.
- ALHO, C. F. et al. Chemical oxidation of Eucalyptus benthamii charcoal. In: INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE CONFERENCE, 2008, Newcastle. **Proceedings...** Newcastle, 2008. Disponível em: <http://www.biochar-international.org/sites/default/files/Alho_et_al.pdf>. Acesso em: 2 maio 2016.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BIASI, P. C. **Rendimento e eficiência no desdobro de três espécies tropicais**. 2005. 61 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 10 mar. 2016.
- BRIDGWATER, A. V. **Review of thermochemical biomass conversion: report B 202**. Oxon: Energy Technology Support Unit, 1991. 76 p.
- BRITO, E. O. Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira. **Revista da Madeira**, São Paulo, v. 4, p. 34-39, 1995.
- CUNHA, T. J. F. et al. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 1, p. 91-98, 2007.
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 1, physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 443-461.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, Mattawa, v. 36, p. 10-13, 1960.

DOWNIE, A.; CROSKY, A.; MUNROE, P. Physical properties of biochar. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). **Biochar for environmental management: science and technology**. London: Earthscan, 2009. p. 13-29.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2013.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FERREIRA-LEITÃO, V. et al. Biomass residues in Brazil: availability and potential uses. **Waste and Biomass Valorization**, New York, v. 1, p. 65-76, 2010.

FIDEL, R. B. **Evaluation and implementation of methods for quantifying organic and inorganic components of biochar alkalinity**. 2012. 88 p. Thesis (Master of Science)-Iowa State University, Ames, 2012.

FIGUEIREDO, N. A. de et al. Characterization of biochars from different sources and evaluation of release of nutrients and contaminants. **Revista Ciências Agrônômicas**, Fortaleza, v. 48, n. 3, p. 395-403, jul./set. 2017.

FONSECA, É. P. et al. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002.

FONTES, P. J. P. **Auto-suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento de resíduos**. 1994. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

GLASER, B. et al. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 31, p. 669-678, 2000.

GLASER, B. et al. The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, Berlin, v.88, p. 37-41, 2001.

GRAY, M. et al. Water uptake in biochars: the roles of porosity and hydrophobicity. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 61, p. 196-205, 2014.

HAMMES, K.; SCHIMIDT, M. W. I. Changes of biochar in soil. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). **Biochar for environmental management: science and technology**. London: Earthscan, 2009. p. 169-178.

INFO-GEN: software estadístico para análisis de dados genéticos. Disponível em: <<http://www.info-gen.com.ar>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da extração vegetal e silvicultura 2015**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=mt&tema=extracaovegetal2015>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE. Serviço Florestal Brasileiro. **Atividade madeireira na Amazônia Brasileira: produção, receita e mercados**. Belém, 2010. 20 p.

INYANG, M.; DICKENSON, E. The potential role of biochar in the removal of organic and microbial contaminants from potable and reuse water: a review. **Chemosphere**, Oxford, v. 134, p. 232-240, 2015.

JOSEPH, S. D. et al. An investigation into the reactions of biochar in Soil. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 48, p. 501-515, 2010.

LEHMANN, J. A handful of carbon. **Nature**, London, v. 447, p. 143-144, 2007.

LEHMANN, J. Terra preta nova: where to from here? In: WOODS, W. I. et al. (Ed.). **Amazonian dark earths: win sombroek's vision**. New York: Springer, 2009. chap. 28, p. 473-486.

LEHMANN, J. et al. Biochar effects on soil biota: a review. **Soil and Biochemistry**, Elmsford, v. 43, p. 1812-1836, 2011.

LEHMANN, J. et al. Brazil's new national policy on solid waste: challenges and opportunities. **Clean Technologies and Environmental Policy**, Oxford, v. 16, n. 1, p. 7-9, 2014.

LEHMANN, J. et al. 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.

LIANG, B. et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Fayetteville, v. 70, p. 1719-1730, 2006.

MADARI, B.E. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: _____. **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: EMBRAPA Amazônia Ocidental, 2009. p. 172-188.

MAIA, C. M. B. F.; SOHI, S. P. The effect of biochar on soil-carbon stabilization in a highly SOM-depleted soil. In: IBI MEETING, 3., 2010, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro, 2010. 1 CD-ROM.

MANGRICH, A. S.; MAIA, C. M. B. F.; NOVOTNY, E. H. Biocarvão: as terras pretas de índios e o sequestro de carbono. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 47, n. 281, p. 48-52, maio 2011.

MANYÀ, J. Pyrolysis for biochar purposes: a review to establish current knowledge gaps and research needs. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 46, n. 15, p. 7939-7954, 2012.

MYLAVARAPU, R.; NAIR, V.; MORGAN, K. **An introduction to biochars and their uses in agriculture**. Gainesville: University of Florida, 2013.

NOVOTNY, E. H. et al. Lessons from the terra preta de índios of the amazon region for the utilisation of charcoal for soil amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 20, n. 6, p. 1003-1010, 2009.

OLIVEIRA, L. B. de. Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 3, n. 1, p. 197-200, 1968.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília, DF: LPF/IBAMA, 2003. 14 p.

REZENDE, F. A. et al. Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, p. 1449-1456, 2016.

ROSCOE, R. et al. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratio in a Cerrado's oxisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 104, n. 3, p. 185-202, 2001.

SCHMIDT, M. W. I.; NOACK, A. G. Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenges. **Global Biogeochemical Cycles**, New York, v. 14, p. 777-793, 2000.

SOUZA, A. P.; CASAVECCHIA, B. H.; STANGERLIN, D. M. Avaliação dos riscos de ocorrência de incêndios florestais nas regiões Norte e Noroeste da Amazônia Matogrossense. **Scientia Plena**, Aracajú, v. 8, n. 5, p. 5, 2012.

SOUZA, G. K. A. D. et al. Growth of Crajiru (*Arrabidaea chica* Verlot.) in different growing media. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 8, p. 61-65, 2006.

SPOKAS, K. A. Impacto f biochar field aging on laboratory greenhouse gas production potentials. **Global Change Biology Bioenergy**, Hoboken, v. 5, p. 165-176, 2012.

STEINER, C. et al. 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**, The Hague, v. 291, p. 275-290, 2007.

SUN, J. et al. Effects of biochar application on Suaeda salsa growth and saline soil properties. **Environmental Earth Sciences**, Heidelberg, v. 75, p. 630, 2016.

TSECHANSKY, L.; GRABER, E. R. Methodological limitations to determining acidic groups at biochar surfaces via the Boehm titration. **Carbon**, Elmsford, v. 66C, p. 730-733, 2014.

VERHEIJEN, F. et al. **Biochar application to soils: a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions**. Luxembourg: European Communities, 2010. 166 p.

WOODS, W. I.; MCCANN, J. M. El origen y persistencia de las tierras negras de la Amazonia. In: HIRAOKA, M.; MORA, S. (Ed.). **Desarrollo sostenible en la Amazonia**. Quito: Abya Ayala, 2001. p. 23-30.

YAKOUT, S. M. Physicochemical characteristics of biochar produced from rice straw at different pyrolysis temperature for soil amendment and removal of organics. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India SectionA: Physical Sciences**, New Delhi, v. 87, n. 2, p. 207-214, June 2017.

ZHANG, M. et al. Preparation and characterization of a novel magnetic biochar for arsenic removal. **Bioresource Technology**, Essex, v. 130, p. 457-462, 2013.

SEGUNDA PARTE- ARTIGOS**ARTIGO 1****BIOCHAR OF SAWDUST ORIGIN IN PASSION FRUIT SEEDLING
PRODUCTION**

Artigo apresentado na íntegra, conforme foi publicado, nas normas do periódico científico Journal of Agricultural Science.

Biochar of Sawdust Origin in Passion Fruit Seedling Production

D. L. Barros^{1,2}, F. A. Rezende³, A. T. Campos¹ & C. M. B. F. Maia⁴

¹Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil

²Federal Institute of Roraima, Boa Vista, Roraima, Brazil

³ Embrapa Agrossilvopastoral, Sinop, Brazil

⁵Embrapa Forestry, Colombo, Brazil

Correspondence: Danieli Lazarini de Barros, Instituto Federal de Roraima, BR174, Km 512, Vila Novo Paraíso, Caracará, RR, CEP 69365-000, Brazil.
Tel: 55-95-3532-4100. Email: danieli.lazarini@gmail.com

Received: March 7, 2017 Accepted: March 27, 2017 Online Published: April 15, 2017

doi:10.5539/jas.v9n5pxx URL: <https://doi.org/10.5539/jas.v9n5pxx>

The research is financed by Mato Grosso Research Support Foundation (FAPEMAT), National Counsel of Technological and Scientific Development (CNPq), Flora Sinop Nursery, Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (Capes).

Abstract

Great part of solid waste are deposited inappropriately near cities or in rural areas, contributing to negative environmental impacts. There are numerous forms of waste processing, one of them is pyrolysis to produce biochar and subsequent use in agricultural systems. The objective of this study was to evaluate different substrates with activated biochar (AB) and biochar (B) in substrate and its effect on the growth of passion fruit seedlings. The test was conducted in a nursery, located in Sinop/MT, May to July 2013, designed in four blocks with ten treatments: commercial substrate (CS), composed by pine bark and vermiculite 4:1; nursery substrate (NS) composed by carbonized rice husk and coconut fiber 1:1; and the eighth treatments represented were B and AB additions of 25; 50; 75; and 100% in CS, (B25, B50, B75, B100, AB25, AB50, AB75 and AB100, respectively). After 60 days sowing the stem diameter, plant height, leaf number was evaluated and at the end of the experiment the fresh and dry weight of shoots and roots, and Dickson Quality Index (DQI) were assessed. AB at concentrations of 25, 50 and 75% combined with commercial substrate showed increases in parameters fresh and dry biomass weight, height, stem diameter and number of leaves. The dose of 25% AB is presented as the best dose to be adopted in commercial crops. The sawdust processed into AB is an alternative in the production of passion fruit system and the reintegration of this raw material to the productive sector.

Keywords: pyrogenic carbon, waste recovery, wood industry residues

1. Introduction

The production of organic waste is high and growing in both rural and urban areas. Great part of the solid waste, including sawdust, are deposited inappropriately near cities or in rural areas, resulting in material potentially liable to spontaneous or criminal fire, fact worsened in the dry season. They also imply negative environmental impacts, which range from immobilization of nutrients by microorganisms and even cause serious problems such as contamination of water reserves (Silva, 2008).

There are numerous forms of waste processing aiming its stabilization. Among them stands out the pyrolysis method to obtain biochar and subsequent use in agricultural systems.

Biochar is a carbon-rich product obtained from the thermal decomposition of organic materials with atmosphere in absence or minimal presence of oxygen at temperatures ranging from 350 to 700 °C, used as a soil conditioner (Lehmann, 2009). Almost any source of biomass can be carbonized (Maia & Sohi, 2010).

According to Madari et al. (2009), the amount of carbon produced by burning depends on the source material, the temperature and time of firing. The yield of the pyrolysis process can range 12-35%, depending on the kind of process used - slow or fast pyrolysis (Bridgwater, 2001).

When added to soil, biochar can improve its physico-chemical and biological characteristics. Effects such as density reduction, porosity increase and water retention in soil, aggregate formation and improvement of the sorption complex are commonly reported. Biochar can also promote absorption of soluble organic compounds due to its polycyclic aromatic structures. Such structures are the core of biochar and explain its stability and chemical activity and when this core brings organic functions as carboxyls and hydroxyls at the

border, it can increased exchangeable capacity and agronomic efficiency of fertilization (Benites et al., 2005; Novotny et al., 2009; Atkinson et al., 2010). Besides, biochar provides changes in soil microbial communities, increasing biodiversity and consequently enhancing agricultural productivity. Some studies also report a suppression or decreasing of methane emissions and nitrous oxides (Novotny et al., 2012).

According to Casselman (2007), as the biochar does not decompose easily, its structure could hold, for thousands of years, all carbon contained in it, instead of releasing it into the atmosphere as CO₂, the main greenhouse gas. This fact can contribute to increasing agricultural productivity by enhancing the ability to retain nutrients and moisture in addition to sequestering carbon and reduce the greenhouse effect.

Biochar can be described as a porous carbonaceous material, rich in pyrogenic carbon, which structure varies according to the pyrolysis process. The material is usually of high chemical stability, but when submitted to wheater action or to physical/chemical activation processes it presents a high porous density (Hammes & Schmidt, 2009; Downie et al., 2009).

The activation process will act unclogging the surface pores from residual tar, increasing the specific surface and the number and the size of pores in the final material. This feature will also influence the development of possible surface charges originated through chemical reactions during the pyrolysis process or later, once applied in soil. This treatment improves the biochar properties as a soil conditioner and can be obtained by different methods, resulting in a higher adsorption capacity (Zhang et al., 2013).

Activated biochar has properties to be applied to soil or as a component of growing media (substrate or potting soil) to produce seedlings, since it is light and has porous, reactive structure and appropriate physical and hydraulic properties (Verheijen et al., 2010). Growing media for seedlings production

must be of low density and exhibit good water retention capacity (Gonçalves et al., 2000).

According to Terra et al. (2011), a good substrate shall provide, aside low density and high capacity of water retention, high cation exchange capacity, good aeration and drainage. When added to a growing media, biochar increases its water retention ability at both low and high pressures, favoring conditions for seedlings development (Zannetti et al., 2003; Souza et al., 2006).

However, there are few studies evaluating the direct effect of biochar and their mechanisms of action on soil processes and plant growing media. Furthermore, new growing media constituents for seedling production are highly important for the nursery sector, since the substrate is a key factor for the development of seedlings and the use of materials as peat, the most common used in growing media, are not always environmental friendly.

Cavalcante et al. (2012) states that biochar has been well studied as a soil conditioner, but little information is available on biochar as a substrate component for production of fruit seedlings. However, the authors stress the importance of biochar as a substrate component especially for the production of seedlings whose propagation is economically viable, such as the yellow passion fruit.

In this context, the main objective of this study was to evaluate different growing media mixtures, including biochar (B) and activated biochar (AB), at various proportions, and its effects on the growth of passion fruit seedlings.

2. Material and Methods

Characterization of the study area: the trial was conducted at nursery Flora Sinop, from May to July 2013. The nursery is located in Sinop, Mato Grosso, 500 km far from the state capital Cuiabá, with 384 m above sea level and geographic location of 11°52'23" South, 55°29'54" West. The annual average temperature is 24 °C, annual rainfall of 1.900 mm and relative humidity ranging between 80 and 35% during the year (Souza et al., 2012).

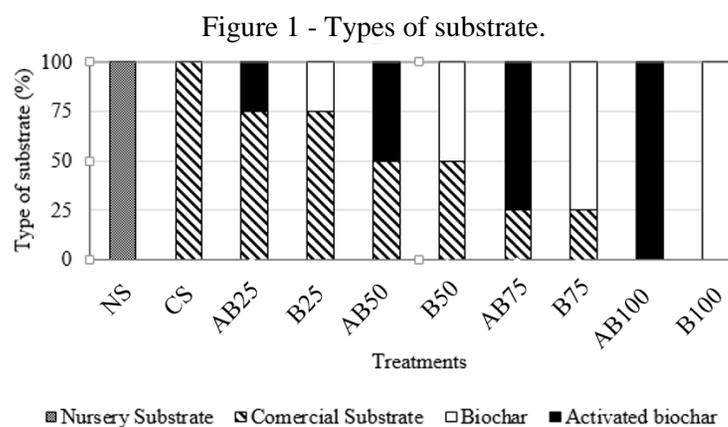
The sawdust to produce biochar was taken from timber industries, which process wood from native forest management systems located in Sinop/MT region. Biochar (B) was produced from fresh sawdust of tropical native species, obtained from local sawmills, in a slow pyrolysis reactor (vertical furnace), with 25 minutes of residence time in the oven, at 450 °C.

Activated biochar (AB) was prepared in a slow pyrolysis reactor (horizontal tubular oven) at 650 °C, with 60 minutes of residence time under steam injection. After activation, the proportion of phenols (-OH) decrease and the relative amount of carboxyl (-COOH) and lactones (-COH) groups increase.

The chemical composition of the AB was 10% phenol, 40% lactose, 50% carboxyl groups and to B: 49% phenol, 21% lactose and 30% carboxyl groups showing that there are some degree of funcionalization during this process. These results were obtained by the method of Fidel (2012), and Tsechansky and Graber (2014). Carboxyl groups, being a stronger acid group than hydroxyl, can dissociate as carboxylate, creating anionic charges and increasing the cationic exchange capacity of biochar. Linhares et al. (2012) says that biochar interaction with the environment can form new compounds with carboxyl groups directly connected to the charcoal recalcitrant aromatic structures, contributing to the cation exchange capacity.

Passion fruit (*Passiflora edulis* Sims, BRSGA1 variety-Yellow Giant) seedlings were grown in conical tubes with a capacity of 300 cm³ of substrate. Three seeds per tube were sown and after 15 days, thinning was done leaving one seedling per container. The tubes were kept in trays containing 40 seedlings each. From each trail, only the ten central plants were evaluated, avoiding the edge effect. After 20 days, seedlings were relocated to a shaded house, with 50% of solar radiation attenuation, and after 30 days of sowing, seedlings were taken to full sun. In early production stages, the seedlings density per tray was one per cell. In full sun environment, seedlings were redistributed to the density of one plant every four cells.

The experiment consisted of four replicated in randomized blocks, each sample unit (plot) represented by 20 seedlings. Ten treatments were included: Commercial Substrate (CS) composed by pine bark and vermiculite (4:1, m/m); local Nursery Substrate (NS) composed by carbonized rice husk and coconut fiber (1:1, m/m); binaries mixtures of CS and B or AB at proportion of: 25; 50; 75; and 100% (B25, B50, B75, B100, AB25, AB50, AB75 and AB100, respectively), as represented in Figure 1.



The trial was conducted for 60 days under controlled conditions with temperatures around 30°C and relative humidity above 80%. The seedlings were watered by sprinkling twice daily.

The physical characteristics of the substrate are show in Table 1.

Table 1 - Physical properties of the substrates.

Substrates	Real density	Apparently density	Porosity
	----- (gcm ⁻³) -----		%
CS	1.16	0.47	59
NS	1.02	0.15	85
BA	1.67	0.24	85
B	1.27	0.31	75

The different substrates were homogeneized with an electric mixer and chemical slow release fertilizers were added equally for all treatments (225 g Basacote® 6M; 225 g Basacote® 3M and 600 g FH Eucalipto Heringer® to 150 L of substrate). The composition of Basacote® 6M and Basacote® 3M is 16-08-12 of NPK, micronutrient content: Mg – 2%, S – 5%, Fe–0.4%, B–0.02%, Zn – 0.02%, Cu – 0.05% and Mn – 0.06%; and the composition of FH Eucalipto Heringer® is 4-31-4 of NPK, micronutrient content: Zn – 0.4% and Co – 22% respectively.

Height was measured with a millimetric ruler, the stem diameter was measured with a precision digital caliper (0.01mm). After 60 days, the seedlings were taken for determination of fresh and dry weight of shoot and root.

Fonseca et al. (2002) describes the DQI as a good indicator of seedlings quality, because it considers robustness and biomass equilibrium distribution in the plant. We calculated the Dickson Quality Index (DQI) (Dickson et al., 1960) according to the following equation:

$$QID = \frac{TDM}{\frac{\text{height}}{\text{stem diameter}} + \frac{SDM}{RDM}} \quad (1)$$

Where, DQI: Dickson Quality Index; TDM: Total Dry Biomass (g); SDM: Shoot Dry Mass (g); RDM: Root Dry Mass (g); height (cm) stem diameter (mm).

All data were submitted to the average test Scott-Knott at 5% probability by statistical program SISVAR (Ferreira, 2011).

3. Results and Discussion

Growing media containing 25, 50 and 75% of AB produced the higher increases in fresh and dry total biomass, fresh biomass of root and aerial biomass and dry biomass of root and stem. The increases in total fresh biomasses in treatments containing 25, 50 and 75% of AB when compared to the NS were 24; 23 and 25% and to CS were 31; 30 and 32%, respectively. For total dry weight, increments were 20, 14 and 15% in relation to NS and 17, 11 and 13% in relation to CS (Table 2). Leaves dry weight had no significant difference.

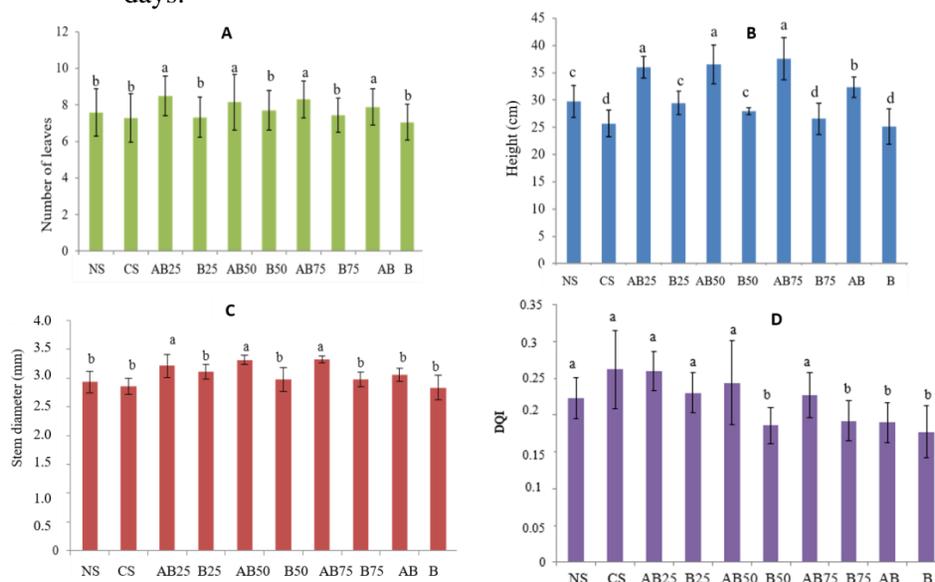
Table 2 - Fresh and dry root biomass, stem and leaves; total fresh biomass and total dry biomass of passion fruit seedlings in relation to substrates. FB – fresh biomass, DB – dry biomass, NS – nursery substrate, CS – commercial substrate, AB – activated biochar, B – biochar

Treatments	FB(gplant ⁻¹)			DB(gplant ⁻¹)		Total FB (gplant ⁻¹)	Total DB (gplant ⁻¹)
	root	stem	leaf	root	stem		
NS	52.50 b	27.00 c	49.00 b	1.03 a	0.66 c	127.50 b	2.63 b
CS	48.00 b	23.00 c	41.50 c	1.19 a	0.61 c	116.00 c	2.71 b
AB25	70.00 a	37.50 a	60.00 a	1.37 a	0.80 b	168.00 a	3.27 a
B25	58.50 a	27.00 c	46.00 b	0.91 b	0.73 c	133.50 b	2.62 b
AB50	66.00 a	38.50 a	58.50 a	1.19 a	0.93 a	165.00 a	3.05 a
B50	43.50 b	30.50 b	38.50 c	0.69 b	0.60 c	112.50 c	2.13 c
AB75	71.00 a	39.00 a	62.50 a	0.92 b	0.94 a	169.50 a	3.11 a
B75	42.50 b	24.00 c	37.50 c	0.66 b	0.66 c	105.00 c	2.13 c
AB	45.00 b	32.00 b	50.50 b	0.70 b	0.75 c	127.00 b	2.50 c
B	35.50 b	21.00 c	37.00 c	0.60 b	0.55 c	94.50 c	1.95 c
CV%	21.69	14.55	9.56	24.11	12.39	11.61	14.20

Note. *Means followed by the same letter do not differ by the Scott-Knott test ($p < 0.05$).

Plant height and stem diameter showed significantly increases for treatments AB25, AB50 and AB75 (Figures 2B and 2C). For number of leaves in passion fruit seedlings, all doses with activated biochar were higher than other treatments (Figure 2A).

Figure 2 - A - number of leaves; B - height; C - stem diameter; D - DQI after 60 days.



Note. Means followed by the same letter do not differ by the Scott-Knott test ($p < 0.05$).

The Dickson Quality Index (DQI) is shown in Figure 2D. The DQI vary from 0.18 to 0.26. Treatments NS, CS, AB25, B25, AB50, AB75 showed higher values but did not differ statistically among them, by the Scott-Knott test at 5% probability. They showed values as recommended by Hunt (1990), which established default values greater than or equal to 0.20 for quality of seedlings. This author says that DQI smaller than 0.20 indicate seedlings with poor final quality to go to the field and DQI above this value present better quality.

Fonseca et al. (2002) state that the Dickson quality index is a good indicator of quality because it takes into account the balance of the distribution of biomass, being an important parameter to be used in assessing the quality of seedlings.

The most labile substrate has a greater mineralization rate, with higher cation exchange capacity provided by the peripheral charges in addition to the

physico-hydric effects, which was provided by the activation process. The activation process can promote both the release of volatiles and formation of crystalline C formation, unclogging of biochar pores and improvement of loads of organic radicals in the carbon surface, increasing the surface area and porosity, which facilitates the action of the mineralizing microorganisms (Downie et al., 2009; Bruun et al., 2012; Morales, 2010). These effects influence the greater accumulation of fresh and dry matter with activated biochar added to the commercial substrate.

The activated biochar porosity was higher when compared to the commercial substrate and biochar. Thus, activated biochar contributed to increase porosity, aeration and water holding capacity when mixed with soil or substrate, an essential factor for the quality of the substrate (Zanetti et al., 2003).

Another explanation is the chemical composition of the activated biochar, which showed 50% of carboxylic groups 10% of phenolic groups. Despite the biochar be considered an inert material, it can bring in its molecular structure sites with potential capacity to perform ion exchange, which can contribute to increased cation exchange capacity (CEC) values and thus provide greater availability of nutrients (Novotny et al., 2009).

Cavalcante et al. (2012), state that the root system is in direct contact with the substrate and thus the positive or negative effects of the growth medium can influence the performance of the cultures. Therefore, the activated biochar when added to commercial substrate showed beneficial effects in the production of passion fruit seedlings.

These results are consistent with those presented by Mendonça et al. (2003), who used charcoal combined with cattle manure + soil and sand in the ratio 1: 2: 1: 1 v/v in the production of papaya seedlings, and obtained around 34% in average higher total fresh and dry weight than the control.

Mendonça et al. (2003), and Souza et al. (2006) studies, showed height gain when added charcoal in the composition of the substrate.

The results of this study also corroborate with Gaskin et al. (2010), Junior Marimon et al. (2012) and Petter et al. (2012) confirming the benefic effects in the combination of biochar and chemical fertilizers, superior then fertilizers alone, in plant growth and crop productivity.

The activation of biochar positively influenced the formation of yellow passion fruit seedlings. In this study, lower doses of biochar, both activated and non-activated, positively influenced the quality of seedlings. Therefore, further studies with different forms of biochar activation and/or combinations are particularly recommended in the production of fruit seedlings.

When considering the adoption of the technique by nurseries and fruit production sector, the results achieved here showed the most recommended dose would be the addition of 25% activated biochar.

4. Conclusions

The studied variables were significantly influenced by the application of activated biochar when added to commercial substrate Mec plant®. Biochar activated at concentrations 25, 50 and 75% combined with Mec plant® showed increases in parameters total fresh and dry biomass, height, stem diameter and number of leaves.

The dose of 25% activated biochar showed the best results when added to commercial substrate.

Sawdust processed into activated biochar is an alternative to improve passion productivity and to recycle this raw material into the production sector.

The study of economic feasibility should be carried out throughout the production system for recommending the use of biochar in passion fruit culture.

References

- Benites, V.M., Mendonça, E.S., Schaefer, C.E.G.R., Novontny, E.H., Reis, E.L., & Ker, J.C. (2005). Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. *Geoderma*, 127(1-2), 104-113.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.11.020>
- Bridgwater, A. V. (1991). *Review of Thermochemical Biomass Conversion*. Report B 202, Energy Technology Support Unit (UK).
- Bruun, E. W., Ambus, P., Egsgaard, H., & Hauggaard-Nielsen, H. (2012). Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. *Soil Biology and Biochemistry*, 46 (1), 73-79.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.11.019>
- Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D., & Hips, N. A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. *Plant and Soil*, 337(1), 1-18.
<https://doi.org/10.1007/s11104-010-0464-5>
- Casselmann, A. (2007). Special Report: Inspired by Ancient Amazonians, a Plan to Convert Trash into Environmental Treasure. *Scientific American*, 67, 2.
- Cavalcante, L., Herbert, Í., Petter, F. A., Albano, F. G., Silva, R. R. S., & Silva Júnior, G. B. (2012). Biochar no substrato para produção de mudas de maracujazeiro amarelo. *Rev. Fac. Agron.*, 111(1), 41-47. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10915/41886>
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle*, 36, 10-13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Downie, A., & Crosky, A. (2009). Munroe, P. Physical Properties of Biochar. In J. Lehmann, & S. Joseph (Eds.), *Biochar for environmental management: Science and technology* (pp.13-29). Londres: Earthscan.

- Ferreira, D.F. (2011). Sisvar: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, 35(6), 1039-1042.
- Fonseca, É. P., Valeri, S.V., Miglioranza, E., Fonseca, N. A. N., & Couto, L. (2002). Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Revista Árvore, Viçosa*, 26(4), 515-523. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000400015>
- Gaskin, J. W., Speir, R. A., Harris, K., Das, K. C., Lee, R. D., Morris, L. A., & Fisher, D. S. (2010). Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal*, 102(2), 623-633. <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0083>
- Gonçalves, J. L. M., Santarelli, E. G., Neto, S. P. M., & Manara, M. P. (2000). Produção de mudas de espécies nativas: Substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In J. L. M. Gonçalves, & V. Benedetti (Eds.), *Nutrição e fertilização florestal* (Cap.11, pp.80-102). Piracicaba: IPEF.
- Hammes, K., & Schmidt, M. W. I. (2009). Changes of biochar in soil. In J. Lehmann, & S. Joseph (Eds.), *Biochar for environmental management: Science and technology* (pp.169-178). Londres: Earthscan.
- Hunt, G.A. (1990). Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer seedlings. *Proceedings of Target seedling symposium, meeting of the western forest nursery associations, general technical report RM-200, 1990, Roseburg* (pp.218-222). Fort Collins: United States Department of Agriculture, Forest Service.
- Lehmann, J. (2009). *Biochar for Environmental Management*. Earthscan, Oxford, UK.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota – A review. *Soil and Biochemistry*, 43, 1812-1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>

- Linhares, C.R., Lemke, J., Auccaise, R., Duó, D.A., Zioli, R.L., Kwapinski, W., & Novotny, E.H. (2012). Reproducing the organic matter model of anthropogenic dark earth of Amazonia and testing the ecotoxicity of functionalized charcoal compounds. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47, 693-698, <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000500009>
- Madari, B.E., Cunha, T.J.F., Novotny, E.H., Milori, D.M.B.P., Martin Neto, L., Benites, V.M., ... Santos, G.A. (2009). *Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio). Suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. Em: As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*(pp.172-188). Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus.
- Maia, C.M.B.F., & Sohi, S.P. (2010). The effect of biochar on soil-carbon stabilization in a highly SOM-depleted soil. *Proceedings of 3rd IBI Meeting, Rio de Janeiro*.
- Marimon-Junior, B. H., Petter, F. A., Andrade, F., Madari, B. E., Marimon, B. S., Schossler, T. R., ... Belém, R. S. (2012). Produção de mudas de jiló em substrato condicionado com Biochar. *Comunicata Scientiae*, 3(2), 108-114.
- Mendonça, V., Neto, S. E. de A., Ramos, J. D., Pio, R., & Gontijo, T. C. A. (2003). Diferentes substratos e recipientes na formação de mudas de mamoeiro 'Sunrise Solo'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25(1), 127-130. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000100036>
- Morales, M. M. (2010). *Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado*(p. 75). Tese Doutorado. Botucatu, SP, UNESP.
- Novotny, E. H., Hayes, M. H. B., Madari, B. E., Bonagamba, T. J., Azevedo, E. R. D., Souza, A. A. D., ... Mangrich, A. S. (2009). Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilization of Charcoal for

- Soil Amendment. *Journal of the Brazilian Chemical Society, Campinas*, 20(6), 1-8.
- Novotny, E. H., Madari, B. E., Maia, C. M. B. F., & Mangrich, A.S. O.(2012).Potencial do Biocarvão (Carbono Pirogênico) no Sequestro de Carbono; na Ciclagem de Nutrientes; no Crescimento das Plantas e no Estímulo de Processos Microbiológicos. In Fertibio 2012. *Anais ... Maceió, AL*.
- Petter, F. A., Madari, B. E., Silva, M. A. S. da, Carneiro, M. A. C., Carvalho, M. T. de M., Júnior, B. H. M., Pacheco, L. P.(2012). Soil fertility and agronomic response of rice to biochar application in the Brazilian savannah. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(5), 699-706.<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000500010>
- Silva, C. A. (2008). Uso de resíduos orgânicos na agricultura. In G. A. Santos, et al. (Eds.), *Fundamentos da matéria orgânica: Ecossistemas tropicais e subtropicais* (Cap. 32, pp. 597-624). Porto Alegre: Metrópole.
- Souza, G.K.A.D., Teixeira, W. G., Reis, R. A., Chaves, F. C. M., & Xavier, J. J. B. N. (2006).Growth of Crajiru (*Arrabidaea chica* Verlot.) in different growing media. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, 8, 61-65.
- Souza, A. P., Casavecchia, B. H., & Stangerlin, D. M. (2012). Avaliação dos riscos de ocorrência de incêndios florestais nas regiões Norte e Noroeste da Amazônia Matogrossense. *Scientia Plena*, 8(5), 5.
- Terra, S.B., Ferreira, A.A.F., Peil, R.M.N., Stumpf, E.R.T., Beckmann-Cavalcante, M.Z.,& Cavalcante, Í.H.L. (2011). Alternative substrates for growth and production of potted Chrysanthemum (cv. Funny). *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33, 465-471.
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A.C., Van Der Velde, M.,& Dias, I. (2010). *Biochar Application to Soils: A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions* (p. 166). Luxembourg: Office for

Official Publications of the European Communities, European Communities.

Zanetti, M., Cazetta, J. O., Mattos Júnior, D., & Carvalho, S. A. (2003). Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25(3), 508-512. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000300037>

Zhang, M., Gao, B., Varnoosfaderani, S., Hebard, A., Yao, Y., & Inyang, M. (2013). Preparation and characterization of a novel magnetic biochar for arsenic removal. *Bioresource Technology*, 130, 457-462. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.11.132>

Copyrights

Copyright for this article is retained by the author(s), with first publication rights granted to the journal.

This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

ARTIGO 2

**SEEDLINGS OF EUCALYPTUS CULTIVATED WITH ACTIVATED
BIOCHAR IN THE NURSERY**

Artigo submetido e apresentado nas normas do periódico científico Revista
Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)

Seedlings of eucalyptus cultivated with activated biochar in the nursery

Abstract

The objective of the present work was to correlate substrates with biochar (B) and activated biochar (AB) in different concentrations with biometric and nutritional variables besides its effect on the growth of *Eucalyptus* seedlings. The experiment was conducted in a plant nursery, located in Sinop /MT, Brazil, from May to July 2013. A randomized complete block design was composed of ten treatments; commercial substrates (CS), nursery substrate (NS) and the treatments represented were B and AB additions in CS (25; 50, 75 and 100%), (B25, B50, B75, B100, AB25, AB50, AB75, AB100 respectively). At the end of the cycle 90 days, plant height, stem diameter, leaf number and Quality Index of Dickson (QID), fresh and dry biomass accumulation and nutrient concentration in the aerial part were determined. The substrates with activated biochar combined with the nursery's substrate presented superior results for biometric variables. Wood industrie residues transformed into biochar is an alternative to residues fate, as a component of substrates in *Eucaliptus* seedlings.

Keywords: waste, charcoal, sawdust.

Mudas de eucalipto cultivadas com biocarvão ativado no viveiro

Resumo

O objetivo do trabalho foi correlacionar substratos com biochar e biochar ativado em diferentes concentrações com variáveis biométricas e nutricionais além de seu efeito no crescimento de mudas de eucalipto. O trabalho foi realizado em um viveiro de mudas, em Sinop/MT. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, sendo os tratamentos constituídos por 10 substratos; substrato do viveirista, substrato comercial (Mec Plant[®]) e concentrações de biochar ativado e não ativado (25; 50; 75 e 100%), com 4 repetições. Ao final do ciclo (90 dias), determinou-se a altura, diâmetro do coleto, IQD, número de folhas, o acúmulo de massa fresca e seca e a concentração de nutrientes na parte aérea. Os substratos com biochar ativado combinado com o substrato do viveirista apresentaram resultados superiores para variáveis biométricas. O pó-de-serra transformado em biochar é uma alternativa para o aproveitamento de resíduos, como um componente de substratos de mudas de eucalipto.

Palavras-chave: resíduos, carvão vegetal, pó-de-serra.

INTRODUCTION

The final destination of organic waste from agricultural and industrial activities is a constant concern of society, since it can cause several damages to environment, such as contamination of soil and water reserves.

Wood industry generates large amounts of waste, especially sawdust, and an alternative to it is fate biochar that can return or recicy it agricultural activities, as well as being used in nursery as a substrate component. One of the species that can benefit from biochar useis Eucalyptus. This species presents national and international demand, due to its importance in wood supply for several purposes, besides reducing pressure of native species exploration.

Eucalyptus is important because it has high productivity, reduced growing cycle and high flexibility to edaphoclimatic conditions, being the genus more planted worldwide (Gonçalves et al., 2008). Brazil presents a growing area of 5.1 million hectares of eucalyptus plantation (Anuário Estatístico da ABRAF, 2013).

The genus Eucalyptus has over 600 species, from which it is possible to obtain products for several purposes, such as wood for coal, cellulose and paper, furniture industry, extraction of essential oils, fence posts, sleepers, poles, among others (Mora & Garcia, 2000). However, the success of the forest implantation begins with high quality seedlings, guaranteed in part by the substrate, nutritional and water management.

Biochar is a carbon rich product obtained from the thermal decomposition of organic materials in absence or minimal presence of oxygen in the atmosphere at temperatures ranging from 300 to 1000°C by a process known as pyrolysis (Zhang et al., 2015). It is also considered a soil conditioner, due to its physical-chemical characteristics and to be applied to it (Lehmann,

2009; Petter et al., 2012) and to sequester atmospheric CO₂ (Mukherjee et al., 2011).

In biochar the production of biochar, any source of biomass can be carbonized (Maia & Sohi, 2010) which is an advantage, due to residues availability for its manufacture. In addition is considered a strategy of integrated environmental benefits, by associating clean energy production, waste recycling and C storage at soil (Novotny et al., 2015).

Biochar presents a porous, reactive structure and appropriate physical and hydraulic properties (Marimon-Júnior et al., 2012). Thus, because it has appropriate characteristics, it can be applied as substrate component for seedlings production.

In this context, the objective of the study was to correlate substrates with biochar and activated biochar at various proportions with biometric and nutritional variables besides its effects on the growth of eucalyptus seedlings.

MATERIAL AND METHODS

The experiment was conducted at Flora Sinop nursery, from May to July 2013. The nursery is located in Sinop, Mato Grosso, Brazil, at the geographical location of 11 ° 52 '23" South, 55 ° 29' 54" West with 384m above sea level. The mean annual temperature is 24.0 ° C, annual rainfall of 1900 mm and relative humidity ranging between 35 and 80% during the year (Souza et al., 2012).

The biochar used in this trial was produced from sawdust from native species obtained from timber industries located in Sinop/MT region. The sawdust was processed in a slow pyrolysis reactor (vertical furnace), with 25 minutes of residence time in the oven, at 450° C.

To make the activated biochar the temperature of the pyrolysis reactor (horizontal tubular oven) was increased to 650 ° C, with 60 minutes of residence time under steam injection during the production process. The activation treatment was carried out with the purpose of eliminating residues from the pyrolysis process, unclogging the pores of the biochar allowing the availability of organic radicals on the surface of the coal.

The different substrate compositions were homogenized with an electric mixer and chemical slow release fertilizers were added equally for all treatments (225g Basacote® 6M, 225g Basacote® 3M and 600g FH Eucalipto Heringer® to 150 L of substrate). The composition of Basacote® 6M and Basacote® 3M is 16-08-12 NPK, micronutrient content: Mg-2%, S-5%, Fe-0.4%, B-0.02%, Zn-0.02%, Cu - 0.05% and Mn - 0.06%; and the composition of FH Eucalipto Heringer® is 4-31-4 NPK, containing: Zn - 0.4% and Co - 22% respectively.

For the production of eucalyptus (*Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*) seedlings, mini-cuttings with dimensions varying between 4 to 6 cm were collected in the mini-clonal hedges and staked by minicutting method. Plastic tubes were used with 53 cm³ of capacity for the seedlings.

At 90 days after staking, the morphological parameters of the seedlings were evaluated. The height of the seedlings were measured with a millimeter ruler positioned at the substrate level to the apical meristem of the seedling, while the stem diameter of the seedling was measured with a digital pachymeter (0.01mm).

The plant material was divided into aerial part (leaves and stem) and root, in which the root system was separated by water washing. The material was then packed in paper bags and placed in forced air circulation oven at 65°C until reaching a constant mass, and then weighed on a precision balance for dry biomass of the aerial part, roots and total dry biomass.

With the shoot dry biomass (SDB) and root dry biomass (RDB) values, the Quality Index of Dickson (QID) was calculated. QID is considered a good indicator of seedlings quality, because it considers robustness and phytomass equilibrium distribution in the plant, with several important parameters being weighted (Fonseca et al., 2002). It is determined as a function of the height of the aerial part, stem diameter, dry shoot, root and total dry biomass determined according to the following equation Eq. 1. (Dickson et al., 1960).

$$QID = \frac{TDB}{\frac{\text{height}}{\text{stem}} + \frac{SDB}{RDB}} \quad \text{Eq (1)}$$

Where: QID – Quality Index of Dickson; TDB – total dry biomass (g); SDB – shoot dry biomass (g); RDB - root dry biomass (g); height (cm) and stem diameter (mm).

The aerial part (leaves) were milled with Willey-type knives and sent to laboratory for macronutrients analysis. A randomized complete block design was composed of ten treatments. The treatments are show in Table 1.

Table 1 - Substrate composition.

Treatments	Substrate composition
CS	pine bark and vermiculite (4:1, m/m) (Mec Plant [®])
NS	50% de CS e 50% carbonized rice husk and coconut fiber (1:1, m/m)
AB25	25% de AB com 75% de CS
B25	25% de B com 75% de CS
AB50	50% de AB com 50% de CS
B50	50% de B com 50% de CS
AB75	75% de AB com 25% de CS
B75	75% de B com 25% de CS
AB	100% de AB
B	100% de B

CS – comercial substrate; NS – nusery substrate; AB – activated biochar; B – biochar.

The physical characteristics of the substrate are show in Table 2.

Table 2 - Physical characteristics of the substrate.

Substrates	Real density(g.cm ⁻³).....	Aparente density	Porosity %
CS	1.16	0.47	59
NS	1.02	0.15	85
AB	1.67	0.24	85
B	1.27	0.31	75

The chemical composition of the AB was 10% phenol, 40% lactose, 50% carboxyl groups and to B: 49% phenol, 21% lactose and 30% carboxyl groups showing that there are some degree of funcionalization during this process.

All data were submitted to the average test Scott-Knott at 5% probability by statistical program SISVAR (Ferreira, 2011) and the data were submitted to principal component analysis (PCA) to identify which morphological and leaf

parameters correlated with the substrates analyzed. The program used was Info-Gen (www.info-gen.com.ar).

RESULTS AND DISCUSSION

The NS and treatments with activated biochar (AB) showed superior results when compared with biochar (B). NS and AB (25, 50, 75 and 100%) presented the best results for height, stem diameter, total fresh biomass (TFB), total dry biomass (TDB), and QID and did not differ statistically between them according to table 3. B25 and B presented the lowest values in the evaluation of the number of leaves of eucalyptus seedlings.

With the increase of the amount of AB present at substrate, there was no difference between the biometric variables; however, when AB and B were compared in the same concentration, AB increases were observed for height, stem diameter, TFB, TDB and QID (Table 3).

Table 3 - Height (H), stem diameter, total fresh biomass (TFM), total dry biomass (TDB), QID and number of leaves (leaves) of eucalyptus seedlings as a function of substrates (SUB).

SUB	H (cm)	Stem (mm)	TFB (g)	TDB (g)	QID	leaves
CS	12.90 b	1.70 b	1.81 b	0.44 b	0.03 b	8.22 a
NS	14.11 a	1.92 a	2.79 a	0.65 a	0.05 a	7.97 a
AB25	14.84 a	1.92 a	2.46 a	0.60 a	0.04 a	8.97 a
B25	12.33 b	1.51 b	1.66 b	0.38 b	0.02 b	6.30 b
AB50	14.40 a	1.98 a	2.20 a	0.55 a	0.04 a	8.12 a
B50	13.01 b	1.63 b	1.32 b	0.32 b	0.02 b	7.47 a
AB75	14.17 a	1.88 a	2.53 a	0.61 a	0.05 a	8.32 a
B75	13.16 b	1.62 b	1.72 b	0.49 b	0.03 b	7.55 a
AB	15.68 a	2.04 a	3.04 a	0.74 a	0.06 a	7.65 a
B	11.97 b	1.62 b	0.92 b	0.22 b	0.02 b	6.20 b
CV%	7.03	7.00	29.39	27.08	27.29	31.72

*Means followed by the same letter do not differ by the Scott-Knott test ($p < 0.05$). CS – Comercial Substrate. NS- Nusery substrate. AB25; AB50; AB75 and AB - biochar activated at proportion of (25, 50, 75 and 100). B25, B50, B75 and B - biochar without activation at doses (25, 50, 75 and 100). CV: coefficient of variation

The values of height and total dry biomass (TDB) were higher than those found by Oliveira et al. (2014), who evaluated substrates containing 50% carbonized rice husk and 50% vermiculite thin found 11.69 cm height and 0.304g TDB for *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* and lower than those found by Melo et al., (2014), who worked with farmyard manure with carbonized rice husks for *E. grandis* and Batista et al. (2014) that evaluated solid residue urban composite for *Eucalyptus urophylla*. However, height and stem diameter values were close to those determined by Gomes et al. (2013), who established values of 15 to 30 cm for shoot height and a minimum value of 2.0 mm for stem diameter for *E. Grandis* seedlings.

Biochar activation also exerted influence on QID ranging from 0.04 to 0.06 corroborating with the results of Batista et al. (2014). The higher the QID, better the seedlings produced quality. However, QID is a variable characteristic that varies within species, the seedlings management in nursery, substrate type and proportion, container volume and, mainly, the age in which seedlings were evaluated (Caldeira et al., 2012; Eloy et al., 2013; Gomes et al., 2013).

In macronutrients analysis, N content of the aerial part in the eucalyptus seedlings. Can be observed in Table 4. Substrates with AB did not differ from the NS, B25 and CS. As AB dose increase, N content do not change. In relation to P, AB presented the highest content.

There was no difference in treatments AB25, AB and B for the K⁺ contents. As biochar concentration in the substrate increases, element concentration increases, due to the pyrolysis process, in which there is a high ash production, rich in K⁺. Fengel and Wegener (1984) reported that the main components of wood ash are calcium, potassium and magnesium. In many woods, Ca represents 50% of all the elements present in the ashes of the wood.

CS, AB25 and AB75 presented higher Mg^{2+} contents than the other substrates. On the other hand, Ca^{2+} , AB25, B25, AB50 and AB were the best treatments.

Table 4 - Analysis of macronutrients of aerial part of *Eucalyptus* seedlings as a function of substrates

Substrates	N	P	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
		g . kg ⁻¹		
CS	11.92 a	3.20 b	7.18 b	4.16 a	5.81 b
NS	11.32 a	3.25 b	7.00 b	3.61 c	6.51 b
AB25	12.22 a	3.32 b	7.36 a	4.02 a	7.75 a
B25	11.00 a	3.18 b	7.03 b	3.84 b	7.41 a
AB50	11.92 a	3.37 b	7.12 b	3.86 b	7.37 a
B50	10.15 b	2.88 c	6.84 b	3.61 c	6.62 b
AB75	11.62 a	3.28 b	6.71 b	4.13 a	6.83 b
B75	9.85 b	2.60 c	6.92 b	3.91 b	6.31 b
AB	11.42 a	3.92 a	7.74 a	3.07 d	7.27 a
B	9.65 b	2.71 c	7.50 a	3.20 d	6.22 b
CV%	6.09	5.46	5.46	3.75	8.19

Means followed by the same letter do not differ by the Scott-Knott test ($p < 0.05$). CS – Comercial Substrate. NS- Nusery substrate. AB25; AB50; AB75 and AB - biochar activated at proportion of (25, 50, 75 and 100). B25, B50, B75 and B - biochar without activation at doses (25, 50, 75 and 100); CV: coefficient of variation

In the AB obtention process, the chemical composition of the AB shows that there was a reduction of phenolic substances, conferring a greater lability to the substrate, which improves the nutritional availability of the same, consequently gauging improvements in the biometric variables of the seedlings. The higher lability of the substrate, the higher the mineralization, rate, implying a higher cation exchange capacity, resuting in anspecific surface increase, which facilitates mineralizing microorganisms actions(Downie et al., 2009; Bruun et al., 2012; Morales, 2010).

AB presented higher porosity when compared to B (table 2). The higher the porosity, the higher the aeration, and the values were within the optimal level (above 85%) established by Abad et al. (1992).

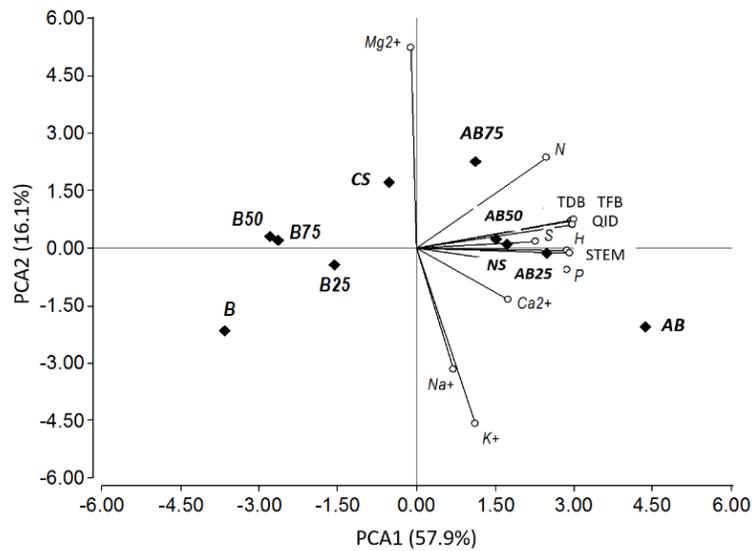
In the analysis of apparent density AB (0.24 g.cm^{-3}) presented a lower value than B (0.31 g.cm^{-3}). Results corroborate with the optimal levels determined by Abad et al. (1992) that are between 0.45 to 0.55 g.cm^{-3} and with Reis (2007) which should be less than 0.4 g . cm^{-3} .

Substrate density is a fundamental physical property to be considered, because it is inversely proportional to porosity. When the density increases, a restriction to the growth of the roots of plants may occur (Singh & Sinju, 1998).

The principal component analysis (PCA) showed the separation of the different substrates, due to the morphological parameters and nutritional contents of eucalyptus seedlings (Figure 1). This differentiated composition between the studied substrates can be observed in the PCA diagram (Figure 1), where the first two axes explained 74% of the total variance (PCA1 = 57.9% and PCA2 = 16.1%), being appropriate, according to Regazzi (2001).

It was verified that the NS, AB25, AB50 and AB75 separate from the others, forming a grouping of the analyzed parameters, mainly because of the TFB, TDB, stem diameter, height (H), QID, P, S, Ca^{2+} and N that were close to one quadrant.

Figure 1 - Ordering diagram of the Principal Component Analysis of the 10 types of substrates used. Biochar and Activated Biochar at doses 25, 50, 75 and 100 (B25, B50, B75, B); (AB25, AB50, AB75, AB), the commercial substrate (CS) and nursery substrate (NS) with themorphological parameters of the eucalyptus seedlings – stem diameter, height, Quality Index Dickson (QID) and total dry biomass (TDB), total fresh biomass and leaf analysis (N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, S, Na⁺).



CONCLUSIONS

The substrates with activated biochar and nursery substrate presents superior results for height, stem diameter, TFB, TDB and QID when compared with biochar. The increase of the biochar concentration did not influence the biometric variables. The sawdust transformed into biochar is an alternative to residues, fate, as a component of substrates in eucalyptus seedlings.

ACKNOWLEDGMENT

To Embrapa Agrossilvopastoral and to all its technical staff for conducting the trial, to the Flora Sinop Nursery, Fapemat / Cnpq and CAPES.

REFERENCES

- Abad, M. et al. Evaluación agronômica de los sustratos de cultivo: jornadas de Sustratos. Actas de Horticultura, Lisboa, n. 11, p. 141-154, 1992.
- Associação Brasileira dos Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF. Anuário estatístico. Brasília, DF, 2013. Available at: <http://www.abraflor.org.br/>.
- Batista, R. O., Martinez, M. A., Paiva, H. de N., Batista, R. O., Cecon, P. R. O efeito da água residuária da suinocultura no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla*. *Ciência Florestal*, 24(1), 127-135, 2014. <https://dx.doi.org/10.5902/1980509813330>.
- Bruun, E. W., Ambus, P., Egsgaard, H. and Hauggaard-Nielsen, H. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. *Soil Biology and Biochemistry* 46: 73-79, 2012.
- Caldeira, M. V. W.; Delarmelina, W. M.; Lübe, S. G.; Gomes, D. R.; Gonçalves, E. O.; Alves, A. F. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. *Floresta*, v. 42, n. 1, p. 77 – 84, 2012.
- Dickson, A.; Leaf, A. L.; Hosner, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle* 36:10-13, 1960.
- Downie, A.; Crosky, A.; Munroe, P. Physical Properties of Biochar In: Lehmann, J.; Joseph, S. (Ed.). *Biochar for environmental management: science and technology*. Londres: Earthscan, p.13-29, 2009.
- Eloy, E.; Caron, B. Otomar.; Schmidt, D.; Behling, A.; Schwerts L.; Elli, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 43, n. 3, p. 373 - 384, jul. / set, 2013.
- Fengel, D.; Wegener, G. *Wood, chemistry, ultrastructure, reactions*. New York: Walter de Gruyter, 613p. 1984.

- Ferreira, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, nov./dez, 2011.
- Fonseca, É. P., Valeri, S.V., Miglioranza, E., Fonseca, N.A.N., & Couto, L. (2002). Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Revista Árvore*, Viçosa, 26(4), 515-523. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000400015>
- Gomes, D. R.; Caldeira, M. V. W.; Delarmelina, W. M.; Gonçalves, E. O.; Trazzi, P. A. Lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis* L. *Cerne*, v. 19, n. 1, p. 123 – 131, 2013.
- Gonçalves, J. L. M.; Wichert, M. C. P.; Gava, J. L.; Serrano, M. I. P. Soil fertility and growth of *Eucalyptus grandis* in Brazil under different residue management practices. In: NAMBIAR, E. K. (Ed.). Site management and productivity in tropical plantation forests. Bogor: CIFOR, p. 51-62, 2008.
- Lehmann, J. *Biochar for Environmental Management*, Earthscan, Oxford, UK, 2009.
- Maia, C.M.B.F., Sohi, S.P. The effect of biochar on soil-carbon stabilization in a highly SOM- depleted soil. 3rd IBI Meeting, Rio de Janeiro, Proceedings. 2010.
- Marimon-Junior, B. H.; Petter, F. A.; Andrade, F.; Madari, B. E.; Marimon, B. S.; Schossler, T. R.; Goncalves, L. G. V.; Belém, R. S. Produção de mudas de jiló em substrato condicionado com Biochar. *Comunicata Scientiae*, v. 3, n. 2, p. 108-114, 2012.
- Melo, L.A.; Pereira, G.A.; Moreira, E.J.C.; Davide, A.C.; Silva, E.V. & Teixeira LAF. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eremanthus erythropappus* sob diferentes formulações de substrato. *Floresta e Ambiente*, 21:234-242, 2014.
- Mora, A.L. & Garcia, C.H. *A cultura do eucalipto no Brasil*. Sociedade Brasileira de Silvicultura, São Paulo, SP, 2000.

- Morales, M. M. Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado. Botucatu, SP, UNESP, 2010. 75p. Tese Doutorado.
- Mukherjee A, Zimmerman AR, Harris W. Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. *Geoderma*, 163:247-55, 2011.
- Novotny, E. H., Maia, C. M. B. de F., Carvalho, Melo, M. T., Madari, B. E. Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use - a critical review. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(2), 321-344, 2015.
- Petter, F. A. et al. Soil fertility and agronomic response of rice to biochar application in the Brazilian savannah. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 47(5):699-706, 2012.
- Regazzi, A. J. INF 766. Análise multivariada. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Departamento de informática, 2001. 166p.
- Reis, M. Material vegetal e viveiros. 1. In: I. Mourao (ed.) *Manual de Horticultura no Modo de Produção Biológico*. Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, pp. 19-52, 2007.
- Singh, B.P., Sinju, U.M. Soil physical and morphological properties and root growth. *Horticultural Science*, 33: 966-971, 1998.
- Souza, A. P., Casavecchia, B. H., & Stangerlin, D. M. Avaliação dos riscos de ocorrência de incêndios florestais nas regiões Norte e Noroeste da Amazônia Matogrossense. *Scientia Plena*, 8(5), 5, 2012.
- Zhang H, Voroney RP, Price GW. Effects of temperature and processing conditions on biochar chemical properties and their influence on soil C and N transformations. *Soil Biol Biochem.*; 83:19-28, 2015.

ARTIGO 3

**CARACTERIZAÇÃO E USO DO BIOCARVÃO DE RESÍDUO
MADEIREIRO NO DESEMPENHO DE *Tectona grandis* L.f. NO MATO
GROSSO**

**CHARACTERIZATION AND USE OF THE BIOCHAR OF WOOD
RESIDUE IN THE PERFORMANCE OF *Tectona grandis* L.f. AT MATO
GROSSO STATE, BRAZIL**

Artigo redigido conforme norma NBR 6022 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003)

RESUMO

A teca (*Tectona grandis* L.f.) é reconhecida, em vários países, pela qualidade e bons preços, além de ser uma das espécies florestais de melhor aceitação no mercado. No entanto, mais do que aumentar a área plantada, a preocupação, nos dias atuais, é em melhorar a produtividade dos plantios por meio da adoção de sistemas de produção mais sustentáveis. O trabalho foi realizado com os objetivos de caracterizar o biocarvão e o biocarvão ativado produzidos a partir do pó de serra e avaliar seu uso no plantio de teca, em Sinop, MT. O estudo foi realizado no campo experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, em Sinop, MT. Para a produção do biocarvão (B), o pó de serra foi carbonizado em forno vertical, durante 25 minutos, a 450°C (pirólise lenta). Já para a produção do biocarvão ativado (BA) aumentou-se a temperatura do forno (tubular horizontal) para 650°C e injetou-se vapor de água. Foi realizada a caracterização química e física de B e BA e seu uso em campo com a presença e a ausência de BA no substrato das mudas e aplicação de B e BA no sulco de plantio de teca. Os dados biométricos, como altura e DAP das árvores, foram avaliados por um período de três anos. O tratamento BA aplicado no sulco é uma alternativa para o plantio de teca, por apresentar melhores resultados para variáveis biométricas analisadas. O acompanhamento da aplicação do BA e seus efeitos no solo devem ser acompanhados por um período maior, por se tratar de espécie florestal e, ainda, devido à ativação natural que poderá ocorrer. O biocarvão, por ser produzido a partir de resíduos, é uma alternativa para a produção sustentável de teca.

Palavras-chave: Pirólise. Teca. Carvão vegetal. Aproveitamento de resíduos.

ABSTRACT

Teak (*Tectona grandis* L.f) is recognized by several countries due to its quality and good prices, as well as being one of the MOST accepted forest species in the market. However, rather than increasing the area planted, the concern today is to improve plant productivity through the adoption of more sustainable production systems. The objective of the present research was to characterize the biochar produced from the sawdust, to activate it and to evaluate its use in the Teak planting, in Sinop/MT, Brazil. The study was carried out in an experimental field of Embrapa Agrossilvipastoral, in Sinop/MT. For the production of the biochar (B), sawdust powder was charred in a vertical oven for 25 minutes at 450 ° C (slow pyrolysis). For the production of activated biochar (AB) an horizontal oven was used, in which the temperature (of the furnace) was 650 ° C and water vapor was injected. The chemical and physical characterization of B and AB and its field use were performed with the presence and absence of AB in the substrate and application of B and AB in the Teak planting groove. The biometric data of the trees were evaluated for a period of three years. The AB treatment is an alternative for the planting of Teak, as it presents better results for analyzed biometric variables. The monitoring of the application of biochar and its effects on soil must be accompanied by a longer period, because it is a forest species and B could be naturally activated in this period. The biochar, produced from residues, is an alternative for sustainable Teak production.

Keywords: Pyrolysis. Teak. Charcoal. Waste management.

1 INTRODUÇÃO

A teca (*Tectona grandis* L.f) é nativa de países como Índia, Myanmar, Tailândia e Laos, sendo que 80% dos plantios estão na Ásia e 7% na América Latina. Estima-se que os reflorestamentos com teca, no mundo, já somam mais de três milhões de hectares. No Brasil, os plantios de *Tectona grandis* L.f. estão distribuídos nos estados de Mato Grosso, Pará e Roraima e representam 0,4% da produção de madeira plantada (CENTENO, 2001; AREFLORESTA, 2012; MEDEIROS et al., 2015).

Atualmente, a maior área plantada nacional de teca está na região centro-oeste (67,4%) e o maior produtor é o estado do Mato Grosso, com 60.000 ha plantados, superando a produção dos países como o Panamá, o Equador e a Costa Rica (CAMINO & AYMERICH, 2013; ABRAF, 2013). O estado apresenta condições edafoclimáticas para o pleno desenvolvimento da teca, o que proporciona taxas de crescimento superiores às dos plantios da maioria dos países produtores dessa madeira (PASSOS et al., 2006).

A teca é reconhecida, em vários países, como madeira tropical dura e de alta qualidade, com bons preços, além de ser uma das espécies florestais de melhor aceitação no mercado internacional de produtos madeireiros, pelas suas características de trabalhabilidade e durabilidade (OLIVEIRA, 2003; MORA & HERNANDÉZ, 2007).

A madeira da teca é, preferencialmente, destinada à construção civil (portas, janelas, painéis, lambris e forros), assoalhos e deques, móveis, embarcações e lâminas decorativas. Apesar da leveza (densidade média é de $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$), apresenta propriedades físico-mecânicas semelhantes às do mogno brasileiro, como durabilidade, estabilidade e facilidade de pré-tratamento, além de apresentar resistência natural ao ataque de pragas (VIEIRA et al., 2008; LUKMANDARU & TAKAHASHI, 2009; GOMES et al., 2011).

Mais do que aumentar a área plantada, para espécies florestais, a preocupação, nos dias atuais, é a de melhorar a produtividade dos plantios, por meio do melhoramento genético, pela seleção de genótipos mais produtivos, e adotar sistemas de produção mais sustentáveis (MEDEIROS et al., 2015).

O biocarvão é uma alternativa para a utilização de resíduos orgânicos de origem animal e vegetal e para a mitigação das alterações climáticas, uma vez que melhora a qualidade do solo e, conseqüentemente, promove a produção sustentável das culturas. É um produto de pirólise anaeróbia derivado de fontes orgânicas, armazena carbono a longo prazo no ecossistema terrestre e também é capaz de reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE) do solo para a atmosfera (KANNAN et al., 2013).

O biocarvão é uma substância fina e porosa semelhante ao carvão produzido por queima natural. É produzido pela pirólise da biomassa sob condições limitadas de oxigênio. O biocarvão é rico em ligantes orgânicos com cargas negativas, o que retém cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , etc.) e possibilita o incremento de carbono no solo, estabelecendo-o como condicionador de solo (LEHMAN et al., 2005; LEHMANN, 2007; WOOF, 2008; KANNAN et al., 2013; IBI – International Biochar, 2017).

No entanto, é necessária maior compreensão dos métodos de produção, taxa de aplicação e impactos na melhoria da qualidade do solo. Em vários estudos, como os de Lehmann (2007), Kannan et al. (2013) e Mylavarapu et al. (2013), destaca-se o uso do biocarvão para a mitigação do aquecimento global, porém, são escassos os trabalhos para avaliar seu uso no solo para espécies florestais.

Portanto, os objetivos, neste estudo, foram caracterizar o biocarvão e o biocarvão ativado produzidos a partir de resíduo madeireiro de espécies nativas, e avaliar seu uso no crescimento e na produtividade no plantio de teca, em Sinop, MT.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no campo experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, localizada na cidade de Sinop, MT, de maio de 2014 a junho de 2017, à altitude de 384 m e localizado nas coordenadas 11° 52' 23" Sul, 55° 29' 54" Oeste. O clima da região é tropical com estação seca do tipo Aw, de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). A temperatura média anual é de 24,0 °C, a precipitação pluvial anual é de 1.900 mm e a umidade relativa do ar varia entre 80% e 35%, durante o ano (SOUZA et al., 2012).

O solo da área experimental está classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, textura argilosa, horizonte A moderado e relevo plano (EMBRAPA 20013). Coletou-se solo em área total, com o auxílio de um trado holandês, anteriormente à implantação do experimento, para a caracterização de macro e micronutrientes (Tabela 1). Todas as amostras foram homogeneizadas, separadas, identificadas e enviadas ao laboratório de análise de solo da Embrapa Agrossilvipastoril, para análise química (EMBRAPA, 2009).

Tabela 1 - Caracterização química do solo da área cultivada com teca.

Prof	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	SB	CTC	P	K	Mn	Zn	Cu	S	B	Fe	V	MO		
(cm)	H ₂ OCmol _c .dm ⁻³mg.dm ⁻³												%	g .dm ⁻³
20	5,1	2,6	0,7	0,0	3,9	3,4	7,4	13	62	22,4	7,5	0,6	28,7	0,5	252	47,0	30,4		
40	4,9	1,6	0,6	0,0	3,1	1,4	5,4	3,6	40	9,2	5,4	0,5	33,0	0,4	297	42,5	20,0		
60	4,8	1,2	0,5	0,1	3,0	1,3	4,8	1,7	25	7,9	4,5	0,4	54,1	0,4	242	36,8	16,8		

¹Metodologia de análise de solos (EMBRAPA2009). V: saturação por bases. CTC – capacidade de troca catiônica potencial. MO – matéria orgânica.

Foram utilizadas, para o plantio no campo, mudas provenientes de miniestacas de um clone de *Tectona grandis* L.f., comercialmente denominado Proteca A1. A seleção do clone foi de acordo com sua relevância de utilização na região.

Aos 100 dias, as mudas de teca foram transplantadas do viveiro Flora Sinop para o campo experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, onde foram plantadas manualmente em sulcos.

Para o preparo do solo foram realizadas duas gradagens, na profundidade de 30 cm e houve a aplicação de corretivo com base em análise do solo. O fertilizante foi aplicado em cobertura, em covetas laterais em todos os tratamentos.

O replantio foi realizado 30 dias após o plantio. O controle de formigas e cupins foi realizado antes da implantação e durante a condução do experimento. O manejo da matocompetição foi realizado com capina manual e roçada mecanizada.

O experimento com teca foi implantado em uma área de 1,44 ha. O espaçamento utilizado foi de 3,5 x 3,5 m entre linhas e plantas, e o biocarvão foi aplicado e incorporado no sulco a uma distância de 75 cm, para cada lado do local de plantio da muda.

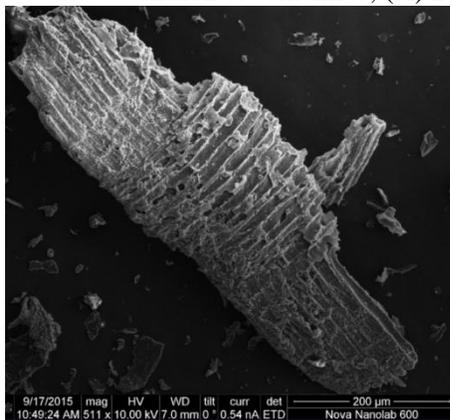
Para a produção do biocarvão (B) utilizou-se o pó de serra de espécies nativas, provenientes de madeiras de Sinop, MT. Carbonizou-se o pó de serra em forno vertical, durante 25 minutos, a 450°C (pirólise lenta). Já para a produção do biocarvão ativado (BA) foi utilizado forno tubular horizontal e aumentou-se a temperatura do forno para 650°C. Procedeu-se à injeção de vapor de água durante o processo, com objetivo de eliminar os resíduos, desobstruir poros e disponibilizar radicais orgânicos na superfície do biocarvão (REZENDE et al., 2016; BARROS et al., 2017).

Para a obtenção dos grupos carboxílicos as amostras foram pré-tratadas conforme Tsechansky & Graber (2014), para a remoção de material adsorvido (alcatrão). Após o pré-tratamento, as amostras foram equilibradas com as soluções de NaHCO_3 , NaCO_3 e NaOH , seguindo o procedimento descrito por Fidel (2012).

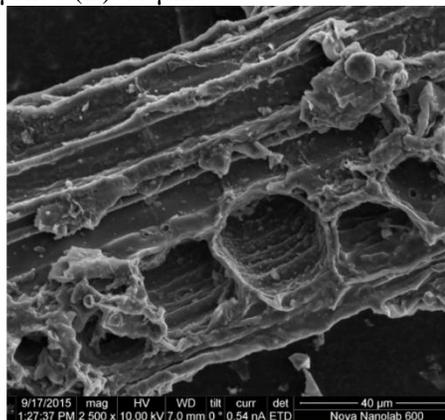
Os protocolos analíticos utilizados foram os recomendados pelo International Biochar Initiative (IBI) (*Standardized product definition and product testing guidelines for biochar*).

As amostras do biocarvão e biocarvão ativado produzidos foram enviadas ao Inmetro, para a obtenção de imagens por meio da microscopia eletrônica de varredura (Figuras 1 e 2).

Figura 1 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura do biocarvão em diferentes tamanhos, (A) 200 μm e (B) 40 μm .



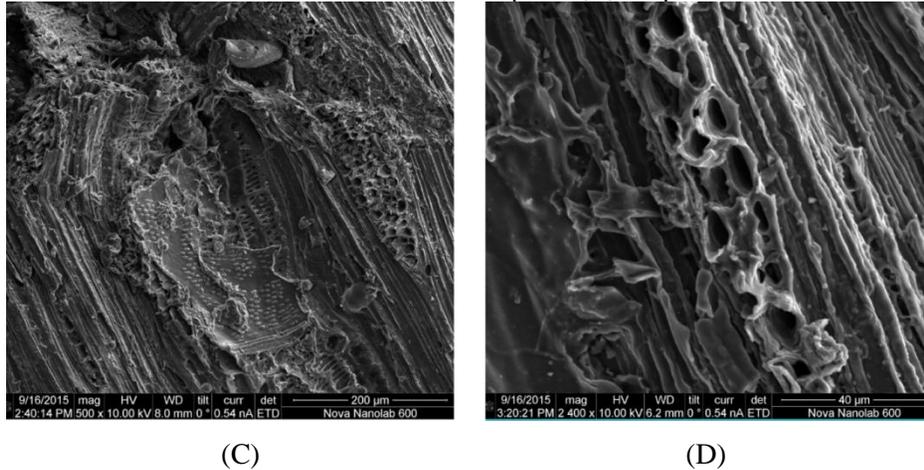
(A)



(B)

Fonte: (INMETRO, 2016).

Figura 2 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura do biocarvão ativado em diferentes tamanhos (C) 200 μm e (D) 40 μm .



(C)
Fonte: (INMETRO, 2016).

Na implantação do experimento foram utilizados dois tipos de biocarvão, o ativado (BA) e o não ativado (B). As doses utilizadas foram de 2,5 $\text{kg} \cdot \text{sulco}^{-1}$, para B e de 0,6 $\text{kg} \cdot \text{sulco}^{-1}$, para BA. As diferentes dosagens para os diferentes biocarvões foram feitas com base na tendência de diminuir as doses de biocarvão aplicadas quando eles sofrem processos de melhoria. Neste estudo especificamente, BA trata-se de material que sofreu ativação. Este processo pode diminuir o tempo das reações deste condicionador de solo com os fatores físicos, químicos e biológicos do meio em que foi aplicado. Os tratamentos foram os seguintes:

- T1 - Muda sem biochar ativado (MsBA) + NPK;
- T2 - Muda com biochar ativado (McBA) + NPK;
- T3 - MsBa + biochar ativado (BA) no sulco + NPK;
- T4 - McBa + BA no sulco + NPK;
- T5 - MsBa + biochar (B) no sulco + NPK;
- T6 - McBa + B no sulco + NPK.

As avaliações de biometria, circunferência do caule e altura foram realizadas com uma fita métrica, aos 30 e 250 dias após o plantio e aos 790 e 1.120 dias avaliou-se a circunferência à altura do peito (CAP). Os dados foram transformados para diâmetro à altura do peito (DAP) pela equação $DAP = CAP/3,1415927$. Para aferição da altura total (H_t) utilizou-se o Haglof VL5 Laser Class 1 da marca Haglof Sweden, no qual o *laser* foi apontado para o ápice das árvores de teca e realizada a aferição.

Aos dois anos após o plantio, amostras de solo foram coletadas com um amostrador hidráulico e uma broca helicoidal da marca SACI acoplada a um quadriciclo que percorreu toda a extensão das parcelas. Obtiveram-se amostras nas profundidades de 0-5, 5-15, 15-30 cm, próximo a muda. Todas as amostras foram homogeneizadas, separadas, identificadas e enviadas ao laboratório de análise de solo da Embrapa Agrossilvipastoril, para análise via combustão seca (analisador CHNS).

O experimento foi delineado em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas no tempo, representadas por seis tratamentos, quatro blocos e 25 repetições, com 600 parcelas amostrais para análises de altura e circunferência do caule. Os dados de CHNS foram coletados aos 790 dias após o plantio, nos quatro blocos, com três repetições. Os dados foram submetidos ao teste de comparação de médias, Scott-Knott, a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O biocarvão, quando submetido ao processo de ativação com vapor de água, proporciona melhoria nas características químicas e físicas. O BA apresentou maior pH, maiores teores de lactose e grupamentos carboxílicos e menor teor de fenol (Tabela 2). Essas características permitiram que o biocarvão, quando adicionado ao solo, devido à sua maior labilidade, pudesse disponibilizar maiores quantidades de nutrientes ao solo. Observaram-se melhores teores de umidade, porosidade e menor densidade de partículas (Tabela 3), que são características desejáveis para um bom substrato, por ser leve, poroso e reter água.

Tabela 2 - Caracterização química do biocarvão e biocarvão ativado.

BC	pH CaCl ₂	pH H ₂ O	Cinzas%.....	MO	Zn	Cumg.kg ⁻¹	Mn	Fe	P	Kg.kg ⁻¹	Ca	Mg
B	4,7	5,2	95,6	4,4	20	16	63	775	0,2	0,8	3,2	0,1
BA	5,8	6,5	95,7	4,3	14	7	67	447	0,1	0,4	3,3	0,2
	C _{total}%.....	C _{org}%.....	H%.....	N%.....	S%.....			Fenol%.....	Lactose%.....	GC%.....		
B	72,7	70,9	4,0	0,5	0,1			49	21	30		
BA	70,7	70,0	3,9	0,5	0,1			10	40	50		

BC – biocarvão; B- biocarvão não ativado; BA- biocarvão ativado; GC grupamentos carboxílicos.

Tabela 3 - Caracterização física do biocarvão e biocarvão ativado.

BC	U _{105°C} (g . g ⁻¹)	Cond (μS. cm ⁻¹)	DP (g.cm ⁻³)	Por. %	Granulometria (%)					
					> 4mm	> 2mm	> 1mm	> 0,6mm	> 0,125mm	< 125mm
B	3,48	34,73	4,38	75	1,14	1,25	2,96	11,04	72,13	10,81
BA	5,54	23,18	2,62	85	0,80	1,72	3,10	16,30	71,41	6,31

BC – biocarvão; B - biocarvão não ativado; BA - biocarvão ativado; U – umidade; Cond – condutividade elétrica; DP – densidade de partículas; Por – porosidade.

A análise química do solo foi avaliada um ano após o plantio de teca. O T2 (muda com BA + NPK) apresentou maiores teores de P e S, enquanto, para os demais elementos, não houve diferença significativapelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Para CHN, no segundo ano de plantio, também não houve diferença pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$), devido à baixa disponibilidade de ambos os biocarvões aplicados, bem como os três anos de avaliação do experimento, o que é considerado baixo para espécies florestais.

As maiores alturas totais foram observadas nos tratamentos T1, T4 e T5, que são estatisticamente iguais. Por sua vez, aos 1.120 dias, o tratamento T5 resultou em maior altura (976,0 cm) (Tabela 4).

Os tratamentos T1, T2, T4 e T6 apresentaram maiores circunferências do caule aos 250 dias e, aos 1.120 dias, T1, T4 e T5 foram os melhores tratamentos para a variável analisada (Tabela 4).

Os tratamentos T4 (McBA + BA no sulco + NPK), T5 (MsBA + B no sulco +NPK) e T1 (MsBA + NPK), no geral, apresentaram os melhores resultados. Nota-se que, a partir dos 790 dias, os tratamentos começaram a se diferenciar, as raízes cresceram e começaram a absorver nutrientes a uma distância maior. O biocarvão ativado apresenta maior porosidade, maior retenção de água, devido à sua granulometria. Os resultados corroboram os de Tseng e Tsen (2006) que, no seu estudo, descobriram que biochar ativado continha mais de 95% de microporos com o diâmetro 2 mm, além de ser mais reativo por apresentar maiores quantidades de grupos carboxílicos em sua área superficial (maiores quantidades de cargas negativas).

A retenção de água do solo enriquecido com biochar é determinada pela distribuição e conectividade dos poros no solo, a proporção relativa de macro, meso e microporos na zona da raiz que depende do tamanho das partículas do solo (textura), em combinação com características estruturais (agregação) e o

conteúdo de matéria orgânica no solo (MAROUŠEK et al., 2017; VERHEIJEN et al., 2010). Portanto, com uma dose quatro vezes menor do que a do biocarvão sem ativação, o biochar demonstrou o mesmo comportamento quando aplicado no sulco de plantio.

Tabela 4 - Desdobramento de tratamento dentro de cada nível de período.

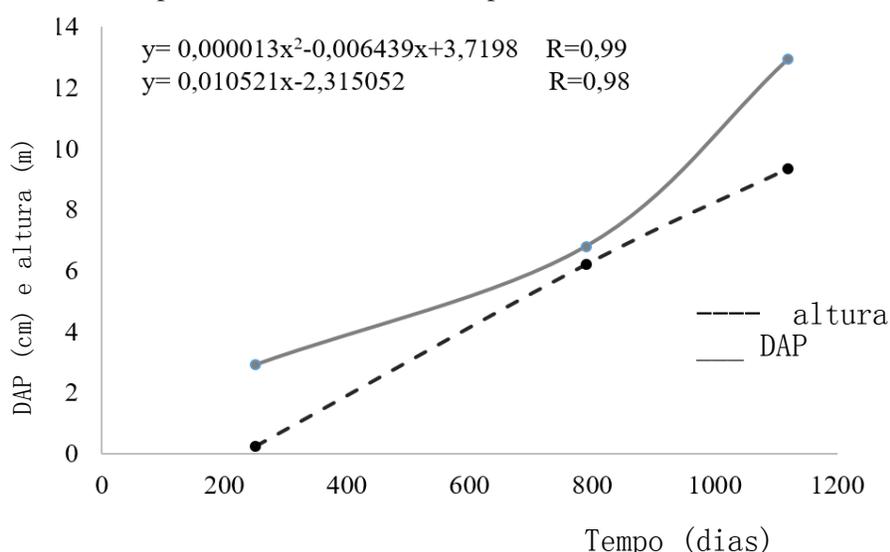
Tratamentos	Altura (cm)			
	30 dias	250 dias	790 dias	1120 dias
T1	9,52 a	23,67 a	632,41 a	956,36 b
T2	11,11 a	26,06 a	595,54 b	926,02 c
T3	9,48 a	23,26 a	600,62 b	871,64 d
T4	9,90 a	25,95 a	635,88 a	952,80 b
T5	10,08 a	21,47 a	645,60 a	976,00 a
T6	9,54 a	25,18 a	610,10 b	925,30 c
	Circunferência do caule (cm)			
T1	2,95 a	9,29 a	21,33 b	41,38 a
T2	3,17 a	9,32 a	20,34 b	39,57 c
T3	2,91 a	8,73 b	20,90 b	38,49 c
T4	3,11 a	10,18 a	22,17 a	41,69 a
T5	2,93 a	8,15 b	22,43 a	41,69 a
T6	2,86 a	9,54 a	20,84 b	40,43 b
CV%	17,60			

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem, pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). T1 - muda sem biochar ativado (MsBA) + NPK; T2 - muda com biochar ativado (McBA) + NPK; T3 - MsBa + biochar ativado (BA) no sulco + NPK; T4 - McBa + BA no sulco + NPK; T5 - MsBa + biochar (B) no sulco + NPK; T6 - McBa + B no sulco + NPK.

O T1 (muda sem BA + NPK), por não apresentar o biocarvão na muda e no sulco próximo a muda e ser composto de NPK, apresenta macronutrientes que estão prontamente disponíveis para serem absorvidos pelas plantas, o que não implica que os demais tratamentos, ao longo de mais anos, venham ter a mesma resposta, comportamento verificado para T5, aos 1.120 dias após o plantio (Tabela 4). Isso porque o biocarvão age como condicionador do solo, podendo, daqui a mais alguns anos, disponibilizar nutrientes e construir a fertilidade do solo e, conseqüentemente, favorecer o crescimento e o desenvolvimento das árvores.

Na avaliação do diâmetro à altura do peito (DAP) e da altura total a partir dos 250 dias não houve interação entre os tratamentos e o período, apenas diferença significativa no período avaliado. O DAP e a altura foram crescentes ao longo dos dias, tendo, a partir do segundo ano, ocorrido um crescimento maior do DAP, quando comparado à altura (Figura 3).

Figura 3 - Crescimento médio de teca ao longo dos dias DAP - Diâmetro à altura do peito (cm) e altura total (m) para teca.



O incremento médio de 790 para 1.120 dias após o plantio, em aproximadamente 1 ano, foi de $3,2 \text{ m.ano}^{-1}$ para altura e para DAP de $2,25 \text{ cm.ano}^{-1}$. Os resultados corroboram os de Passos et al. (2006), que avaliaram *Tectona grandis* L.f, em Cáceres, MT e obtiveram $3,27 \text{ m.ano}^{-1}$ e $3,80 \text{ cm.ano}^{-1}$ e os de Krishnapillay (2000) que, em povoamentos de teca em Perlis, na Malásia, aos 23 meses de idade, no espaçamento 3x4 m, observou incremento médio anual de 4,0 m em altura total e de 2,0 cm, em DAP médio.

Os incrementos médios para DAP e altura total estão de acordo com os relatados por Chaves & Fonseca (1991), que verificaram crescimento rápido para teca, reduzindo, após 10 anos, dependendo da qualidade do sítio, o incremento médio anual encontrado em altura, até a idade de 5 anos, de 2,62 a 3,06 m e, aos 9 anos, de 1,83 a 2,24 m.

Os efeitos da aplicação do biocarvão no solo estão associados a propriedades particulares que variam de acordo com a matéria-prima, a temperatura de pirólise, o tempo de reação, a taxa de aquecimento e as condições edafoclimáticas (textura, presença de nutrientes, matéria orgânica, pH, temperatura e umidade) (LEHMAN, 2007; SPOKAS et al., 2011).

Os biocarvões são diferentes e devem ser utilizados de acordo com suas características especiais em condições ambientais ou agronômicas específicas e seus potenciais benefícios, quando aplicados ao solo, são influenciados pelo material de origem e pela técnica de processamento utilizada (SPOKAS et al., 2012; MYLAVARAPU et al., 2013). Eles podem reter fertilizantes e nutrientes e liberá-los para as culturas agronômicas ao longo do tempo, apresentando capacidade de reter água e nutrientes nas camadas superficiais do solo por longos períodos, o que beneficia a agricultura pela redução da lixiviação de nutrientes e o uso de fertilizantes, não necessitando de aplicações adicionais (MYLAVARAPU et al., 2013).

Portanto, o biocarvão é uma alternativa para a produção sustentável de teca, pelo aproveitamento de resíduos.

CONCLUSÃO

O tratamento com biocarvão ativado aplicado no sulco é uma alternativa para o plantio de teca, independente de ter biocarvão no substrato, por apresentar melhores resultados para variáveis biométricas analisadas.

O acompanhamento da aplicação do biocarvão e seus efeitos no solo deve ser realizado por um período maior, por se tratar de uma espécie florestal.

Agradecimentos

À Embrapa Agrossilvipastoril e a todo seu corpo técnico, pela condução do ensaio; ao viveiro florestal Flora Sinop; à Fapemat/CNPq, pelo financiamento do estudo e à CAPES, pela concessão da bolsa.

Referências

ABRAF. Anuário estatístico da ABRAF 2013, ano base 2012. Brasília: 2013. 148p.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AREFLORESTA. Mato Grosso tem maior área plantada de Teca da América Latina. 2012. Disponível em: <http://www.arefloresta.org.br/noticias/noticia.asp?id=34>. Acesso em: 20 jun. 2017.

ASTM. standard (2009). Standard test method for chemical analysis of wood charcoal. American Society for Testing and Materials (ASTM) International: Conshohocken, PA.

BARROS, D. L.; REZENDE, F. A.; CAMPOS, A. T.; MAIA, C. M. B. F. Biochar of Sawdust Origin in Passion Fruit Seedling Production. *Journal of Agricultural Science*. 2017. <https://doi.org/10.5539/jas.v9n5pxx>.

CAMINO, R.; AYMERICH, J.P.M. La teca em América Latina. In: CAMINO, R. **Las plantaciones de teca em América Latina: mytos y realidades**. Turrialba: CATIE, 2013. P.30-41. (Série Técnica/Informe Técnico/CATIE, 397).

CENTENO, J.C. The management of teak plantations. 2001. Disponível em: www.itto.org.jp/newsletter/v7n2/10management.html. Acesso em: 2017.

CHAVES, E., FONSECA, W. **Tectona grandis L.f. espécie arbol de uso multiple em América Central**. Turrialba, Centro Agronômico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1991. (Série Técnica, n. 179).

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** / editor técnico, Fábio Cesar da Silva - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, 2013.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, nov./dez, 2011.

FIDEL, R. B. (2012). Evaluation and implementation of methods for quantifying organic and inorganic components of biochar alkalinity (Doctoral dissertation, IOWA STATE UNIVERSITY).

GOMES, I. M. da S.; SANTOS JUNIOR, W. R. dos; ARRUD A, A. da S. Análise de soluções para extração de corante de folhas da teca em diferentes estágios de desenvolvimento. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, p. 1–18, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000500012>.

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil. Disponível em: http://www.biochar-international.org/sites/default/files/IBI_Biochar_Standards_V1.1.pdf. Acesso em 20 de junho, 2017.

KANNAN, P., ARUNACHALAM, P., PRABUKUMAR, G., GOVINDARAJ, M. Biochar an alternate option for crop residues and solid waste disposal and climate change mitigation. **African Journal of Agricultural Research**. Vol . 8(21), pp. 2403-2412, 6 June, 2013.

KRISHNAPILLAY, B. **Silviculture and management of teak plantations.** *Unasylva*, v. 51, p. 14-21, 2000.

LEHMANN, J.A handful of carbon. **Nature** 447:143-144. (2007).

LEHMANN, J., LIANG, B.Q., SOLOMON, D., LEROTIC, M., LUIZAO, F., KINYANGI, J., SCHAFER, T., WIRICK, S., JACOBSEN, C.(2005). Near-edge X-ray absorption fine structure (NEXAFS) spectroscopy for mapping nano-scale distribution of organic carbon forms in soil: Application to black carbon particles. **Global Biogeochem. Cycles** 19:1-12.

LUKMANDARU, G.; TAKAHASHI, K. Radial distribution of quinones in plantation teak (*Tectona grandis* L.f.). **Annals of Forest Science**, v. 66, p. 605–613, 2009.

MAROUŠEK, J., VOCHOZKA, M., PLACHÝ, J. et al. Glory and Misery of biochar. **Clean Techn Environ Policy** (2017) 19: 311. doi:10.1007/s10098-016-1284-y.

MEDEIROS, R. A. et al . Análise silvicultural e econômica de plantios clonais e seminais de *Tectona grandis* L.f. Em sistema Taungya1. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 893-903, out. 2015.

MYLAVARAPU, R., NAIR, V.; MORGAN, K. (2013). An Introduction to Biochars and Their Uses in Agriculture. University of Florida.

MORA, F.; HERNÁNDEZ, W. Estimación del volumen comercial por producto para rodales de teca en el pacífico de Costa Rica. **Agronomía Costarricense**, v. 31, n. 1, p. 101–112, 2007.

OLIVEIRA, J. R.V. **Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de Teca -Nutriteca.** 2003. 93 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2003.

PASSOS, C. A. M.; BUFULIN JUNIOR, L.; GONÇALVES, M. R. Avaliação silvicultural de *Tectona grandis* L.f., em Cáceres, MT, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 225-232, 2006.

REZENDE, F. A.; SANTOS, V. A. H. F.; MAIA, C. M. B. F.; MORALES, M. M. Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (Online), v. 51, p. 1449-1456, 2016.

SCHNELL, R. W., D. M. VIETOR, T. L. PROVIN, C. L. MUNSTER, AND S. CAPAREDA. 2012. "Capacity of Biochar Application to Maintain Energy Crop Productivity: Soil Chemistry, Sorghum Growth, and Runoff Water Quality Effects." **Journal of Environmental Quality** 41(4): 1044–1051.

SOUZA, A. P., CASAVECCHIA, B. H., & STANGERLIN, D. M. Avaliação dos riscos de ocorrência de incêndios florestais nas regiões Norte e Noroeste da Amazônia Matogrossense. **Scientia Plena**, 8(5), 5, 2012.

SPOKAS, K. A., Impacto f biochar field aging on laboratory greenhouse gas production potentials. **Global Change Biology Bioenergy**, Hoboken, v.5, p. 165176, 2012.

SPOKAS, K. A., K. B. CANTRELL, J. M. NOVAK, D. A. ARCHER, J. A. IPPOLITO, H. P. COLLINS, A. A. BOATENG, I. M. LIMA, M. C. LAMB, A. J. MCALOON, R. D. LENTZ, AND K. A. Nichols. "Biochar: A Synthesis of Its Agronomic Impact Beyond Carbon Sequestration." **Journal of Environmental Quality** 41(4): 973–989, 2011.

TSECHANSKY, L. & GRABER, E.R. 2014. Methodological limitations to determining acidic groups at biochar surfaces via the Boehm titration. **Carbon**, 66C, 730 – 733.

VERHEIJEN F, JEFFERY S, BASTOS AC, VAN DER VELDE M, DIAFAS I (2010) Biochar application to soils. **Institute for Environment and Sustainability**, Luxembourg.

VIEIRA, A. H.; ROCHA, R. B.; BENTES-GAMA, M. de M.; LOCATELLI, M. Desempenho de teca (*Tectona grandis*) em plantio adensado no Estado de Rondônia. Porto Velho: EMBRAPA Rondônia, 2008. 14 p. (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** n. 56).

WOOLF, D. (2008). Biochar as a soil amendment: A review of the environmental implications of black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems. **Austr. J. Soil Res.** 45:629-634.