

## RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 12/07/2019.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, “JÚLIO DE MESQUITA  
FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESÍDUOS ORGÂNICOS PARA PRODUÇÃO DE BIOCHAR:  
DESENVOLVIMENTO DE PELETIZADORA, MUFLA PARA  
QUEIMA EM PIRÓLISE E DESEMPENHO DA CULTURA DO  
SORGO**

**Ubajara Cesare Mozart Proença  
Tecnólogo em Agronegócio**

**2017**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, “JÚLIO DE MESQUITA  
FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESÍDUOS ORGÂNICOS PARA PRODUÇÃO DE BIOCHAR:  
DESENVOLVIMENTO DE PELETIZADORA, MUFLA PARA  
QUEIMA EM PIRÓLISE E DESEMPENHO DA CULTURA DO  
SORGO**

**Ubajara Cesare Mozart Proença**

**Orientador: Prof. Dr. Wanderley José de Melo**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

**2017**

P48r Proença, Ubajara Cesare Mozart  
Resíduos orgânicos para a produção de biochar: Desenvolvimento de peletizadora, mufla para queima em pirólise e desempenho da cultura sorgo / Ubajara Cesare Mozart Proença. -- Jaboticabal, 2017 xi, 62 f. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017  
Orientador: Wanderley José de melo  
Banca examinadora: Marcela Midori Yada, Gilberto Aparecido Rodrigues  
Bibliografia

1. *Biochar*. 2. Lodo de esgoto. 3. Pellets. 4. Sorgo. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.34:631.54

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: RESÍDUOS ORGÂNICOS PARA PRODUÇÃO DE BIOCHAR:  
DESENVOLVIMENTO DE PELETIZADORA, MUFLA PARA QUEIMA  
EM PIRÓLISE E DESEMPENHO DA CULTURA DO SORGO

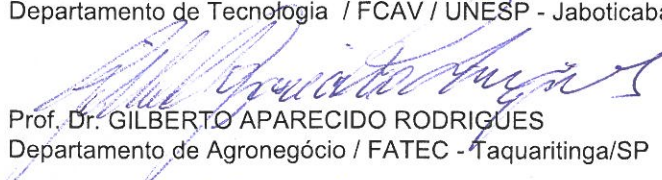
**AUTOR: UBAJARA CESARE MOZART PROENÇA**

**ORIENTADOR: WANDERLEY JOSÉ DE MELO**


Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. WANDERLEY JOSÉ DE MELO  
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. GILBERTO APARECIDO RODRIGUES  
Departamento de Agronegócio / FATEC - Taquaritinga/SP



Pós-doutorando DIEGO SILVA SIQUEIRA  
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 12 de julho de 2017

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

Ubajara Cesare Mozart Proença – Filho de Antônio Hélio de Oliveira Proença (In memoriam) e Maria Ferreira da Silva Proença. Nascido na cidade de São Carlos, São Paulo, no dia 15 de janeiro de 1971. Ingressou no Curso de Tecnólogo em Agronegócio na Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga SP, "Fatec" em 2011 com término do curso em 2014.

## **DEDICO**

Aos meus pais, à minha esposa e filho, às todas as pessoas a quem devo meus progressos nesta minha jornada por este mundo, alguns já partiram e outros estão distantes, mas todos são importantes.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, à Jesus Cristo e toda fraternidade celeste.

À minha esposa, Ivani Bernadete Sala Proença, ao meu filho Ubajara Cesare Mozart Proença Júnior a paciência e tolerância nestes momentos desgastantes, e à espiritualidade superior que sempre foi uma retaguarda para realizar este feito.

Ao professor Dr. Wanderley José de Melo pela orientação, pelo apoio na condução deste estudo.

Ao senhor Luciano Reami, gerente do setor de resíduos sólidos da estação de tratamento (ETE), da cidade de Monte Alto, SP, que gentilmente nos cedeu sem custo a matéria prima lodo de esgoto, fundamental para o nosso estudo.

À UNESP, Campus de Jaboticabal-SP, por fornecer toda a infraestrutura para o desenvolvimento desse trabalho. A todos os funcionários da fazenda e pós graduação, obrigado.

Aos professores do Departamento de Ciências do Solo pela valiosa instrução Agronomia.

Ao amigo Dr. Gilberto Aparecido Rodrigues, pela grande contribuição nos trabalhos de campo e acadêmico.

Ao professor Dr. Diego Silva Siqueira pela enorme colaboração à este trabalho acadêmico.

A professora Dra. Marcela Midori Yada.

A amiga Branca Rochidali, sempre tão prestativa em ajudar.

A amiga Elizete Rodrigues pela sua importante colaboração com este trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram e fizeram parte deste trabalho, muito obrigado!

Meu muito obrigado!



## SUMÁRIO

Página

### **CAPITULO 1 - TERRAS PRETAS DE ÍNDIO DA AMAZÔNIA: GENUÍNO RECEITUÁRIO AGRONÔMICO**

<b>RESUMO.....</b>	<b>X</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XI</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	12
<b>2. JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>13</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
<b>4. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>18</b>

### **CAPITULO 2 - DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE MÁQUINA PELETIZADORA PARA PRODUÇÃO DE PELLETS DE LODO DE ESGOTO**

<b>RESUMO.....</b>	<b>24</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>25</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>26</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>35</b>
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>5. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>37</b>

### **CAPITULO 3 - DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE MUFLA PARA QUEIMA EM PIRÓLISE E ADAPTAÇÕES DE FORNO ODONTOLÓGICO PARA PRODUÇÃO DE PELLETS DE BIOCHAR DE LODO DE ESGOTO**

RESUMO.....	39
SUMMARY.....	40
1. INTRODUÇÃO.....	41
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4. CONCLUSÃO.....	52
5. REFERÊNCIAS.....	52

### **CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO DO VIGOR DO CULTIVAR SORGO BRS 330, SUBMETIDO Á APLICAÇÃO DE DIFERENTES DIÂMETROS DE PELLETS DE BIOCHAR**

RESUMO.....	55
SUMMARY.....	56
1. INTRODUÇÃO.....	57
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	58
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
4. CONCLUSÃO.....	70
5. REFERÊNCIAS.....	71

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Pelitizadora.....	27
Figura 2 - Base da peletizadora.....	28
Figura 3 - Parte superior da peletizadora.....	28
Figura 4 -: Cilindro e partes auxiliares.....	29
Figura 5 - Descrição do pistão.....	30
Figura 6 – Máquina, peneiras e calha.....	30
Figura 7 - Preparo do loto para peletização.....	31
Figura 8 - Osso bovino moído sendo adicionado ao lodo de esgoto.....	32
Figura 9 - Ossos de costela bovina crua e pirolizada.....	32
Figura 10 - Utilização de força humana e mecânica.....	33
Figura 11 - Sequência operacional de peletização de biomassas.....	34
Figura 12 - Sequência operacional de peletização de biomassas.....	34
Figura 13- Sequência cronológica da peletização.....	35
Figura 14- Sequência cronológica da peletização.....	35
Figura 15 - Sequência do manejo dos pellets pré-produzidos.....	36
Figura 16- Pellets de biochar nos diâmetros 3, 5, 7 e 9 mm .....	38
Figura 17- Mufla para a conversão de biomassas e cabo de manejo.....	44
Figura 18- Detalhes do forno.....	45
Figura 19- Interior do forno elétrico utilizado no experimento.....	45
Figura 20- Descrição de partes da mufla.....	46
Figura 21- Descrição de partes da mufla.....	47
Figura 22- Descrição de partes da mufla.....	48
Figura 23- Descrição do cabo auxiliar.....	48
Figura 24- Aferimento de preparação de pirólise.....	49

Figura 25- Saída de gases inflamáveis, entrada de oxigênio e chamas.....	50
Figura 26- Abertura, esvaziamento da mufla e biochar ensacado.....	50
Figura 27- Biochar de lodo de esgoto nos diâmetros 3,5,7 e 9 mm ensacados.....	51
Figura 28- Visualização externa e interna da casa de vegetação.....	61
Figura 29- Visualização dos itens internos da casa de vegetação.....	62
Figura 30- Sequência de montagem do vaso com biochar e nutrientes .....	63
Figura 31- Canteiro de mudas de sorgo granífero .....	65
Figura 32- Vasos contendo 3 mudas de sorgo BRS 330 aos 15 dias .....	65
Figura 33- Observação em quatro microscópios com um aumento de 100 vezes.....	69
Figura 34- Plantas de sorgo e florada de mini rosas atestando a qualidade do ambiente.....	69
Figura 35- Plantas aos 45 dias em pleno desenvolvimento.....	70
Figura 36- Ciclo precoce de florescimento.....	70
Figura 37- As plantas já se encontravam em processo de maturação das sementes.....	71
Figura 38- Vista do desenvolvimento total das plantas de sorgo BRS330.....	71
Figura 39- Panícula de sorgo medida e pesada .....	72

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Média dos comprimentos em centímetros das raízes por tratamento.....	67
Gráfico 2- Média do peso das sementes em gramas por tratamento.....	68
Gráfico 3- Valor numérico em porcentagem da produção de sementes por tratamento em relação ao tratamento controle (0%).....	68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tabela esquemática de distribuição dos vasos com seus respectivos tratamentos.....	63
Tabela 2- Análises químicas do lodo de esgoto e osso bovino in natura e pirolizados.....	64
Tabela 3- Análise de variância dos parâmetros morfométricos do sorgo granífero BRS 330.....	66
Tabela 4-. Quadro de medias dos parâmetros morfométricos do sorgo granífero BRS 330.....	66

## **CAPITULO 1 - TERRAS PRETAS DE ÍNDIO DA AMAZÔNIA: GENUÍNO RECEITUÁRIO AGRONÔMICO**

**RESUMO:** A densa floresta tropical de clima quente e úmido, de solos ácidos e de pouca fertilidade, é possuidor de faixas de terras escuras conhecidas como Terra Preta de Índio (TPI), formadas pela ação antropogênica dos homens que ali habitavam. A TPI fora formada pelo depósito nas circunvizinhanças dos resíduos produzidos no dia a dia da população. Esses resíduos continham restos vegetais, animal, cacos de cerâmica e além de muito material orgânico na forma de carvão originário da queima no preparo e manejo de áreas para o plantio e fogueiras utilizadas para o preparo da alimentação. Esses resíduos disposto ao solo amazônico, interagiram-se e modificaram o solo elevando demasiadamente sua fertilidade com considerável aporte de Ca, Mg, Zn, Mn, P e C. A comunidade científica mundial acredita ser principalmente a presença do carvão vegetal no solo (biochar), o principal elemento responsável pela grande melhoria de fertilidade.

**Palavras-chave:** Terra Preta de Índio (TPI), resíduos, Amazônia e biochar.

## **CHAPTER 1 - TERRA PRETA DE ÍNDIO OF THE AMAZON: GENUINE AGRONOMIC REVENUE**

**ABSTRACT:** The dense rainforest of hot and humid climates, with acidic soils and low fertility, possesses dark lands known as Terra Preta de Índio (TPI), formed by the anthropogenic action of the men who lived there. The TPI was formed by the deposit in the surroundings of the waste produced in the day to day of the population. These residues contained plant remains, animal remains, pottery chips and a lot of organic material in the form of charcoal from the burning for preparation and management of areas for planting and bonfires used to prepare food. These residues, disposed to the Amazonian soil, have been interacted with and modified the soil by elevating their fertility with considerable contribution of Ca, Mg, Zn, Mn, P and C. The world scientific community believes mainly the presence of charcoal in the soil (biochar), The main element responsible for the great improvement of fertility.

**Keywords:** Indigenous Black Earth (TPI), residues, Amazon and biochar.



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.2 Considerações gerais

A região amazônica é de perfil atmosférico uniforme, predominando a alta pluviosidade e altas temperaturas, retratado pela densa floresta tropical úmida e solos ácidos e desfavorecidos de nutrientes. De fato, esse perfil retrata uma boa parte do território, mas observações pontuais por regiões aponta uma diversidade muito ampla no aspecto climático, relevo, vegetação e por conseguinte nas propriedades dos solos (SOMBROEK, 2000). Indícios arqueológicos apontam a transformação de habitats por forte atividade humana. Esses povos ameríndios, especificamente no pré-histórico tardio, estimado em uma população de milhões de pessoas, lavravam áreas de maneira a ser notado as transformações do relevo até nos dias atuais. Além das mudanças superficiais do relevo, o homem pré-histórico deixou uma marcas bastante relevantes no solo, como a cor escura, fragmentos arqueológicos e alta quantidade de Ca, Mg, Zn, Mn, P e C.

A compreensão do passado dos povos, nos leva a interpretação de como ocorreu a transformação de solos naturalmente desprovidos de fertilidade, a solos ricos em diversidade de nutrientes. A ocupação humana utilizando os mais diversos mecanismos para que suas necessidades fossem auferidas, modificou áreas do planeta, levando inclusive a grandes mudanças no relevo, constituição química e física do solo.

Com a habitação humana, sítios de depósitos de detritos orgânicos e inorgânicos foram se concentrando, disponibilizando ao passar do tempo importantes nutrientes. Esses detritos são provenientes de produto animal e vegetal levados para o interior das aldeias, servindo para a alimentação do homem e animais domésticos, como material de construção e geração de combustíveis. Todos os resíduos gerados pela atividade da aldeia eram descartados na vizinhança.

Ao redor do mundo, por onde houve ocupação humana, os solos desses sítios exibem coloração escura anômala, pH mais altos que na sua circunvizinhança, concentrações de diversos nutrientes, sendo cada vez mais relevante esses índices em relação a intensidade do tempo e quantidade de população na área, melhorando a qualidade agronômica desses solos como a capacidade de troca catiônica, porcentagem de saturação em bases, retenção de umidade, melhoria dos agregados do solo e potencializando a atividade biológica.

O traço mais marcante desses solos modificados por ação do homem é sua cor escura, levando a serem conhecidos tais solos como Terra Preta Arqueológica (TPA), Terra Preta de Índio (TPI) ou Terra Preta (TP), e uma versão menos conhecida A Terra Mulata (SOMBROEK, 1966; KERN & KÄMPF 1989). Tal coloração escura deve-se

primordialmente à grande quantidade de material orgânico decomposto, onde uma fração deste material seria o carvão residual de fogueiras domésticas, e da técnica de queima de vegetação para uso agrícola do solo.

Todos os dejetos humanos tais como a deposição de cinzas, resíduos de caça e pesca entre outros compostos orgânicos, elevaram os teores C orgânico, P, Ca e Mg a níveis bem contrastantes com a maioria dos solos não povoados por essas etnias pré-históricas, permanecendo ácidos e pouco férteis em nutrientes (RODRIGUES, 1996; KERN & KÄMPF, 1989; WOODS & MCCANN, 1999; MCCANN et al., 2001; LIMA et al., 2002).

A localização das TPI, ocorrem em geral nas margens dos rios ou em regiões mais elevadas chamadas interflúvios, que servem como divisor entre uma bacia hidrográfica e outra. Nestas regiões muito favoráveis a agricultura de subsistência como também por sua localização mais elevada, favorecia o acesso a recursos de inúmeros ambientes, controle ao acesso de outros povos, e por conseguinte aumentando a segurança da aldeia (GERMAN, 2004).

O cenário onde o fenômeno antropogênico TPIs é amplo, engloba a Amazônia Brasileira, Colômbia, do Equador, da Guiana, do Peru e da Venezuela. Segundo Sombroek et.al. (2003), avalia-se que entre 0,1% a 0,3% ou 6 mil a 18 mil km<sup>2</sup> desta região seria TPIs. Com o prosseguimento das pesquisas sistemáticas na Amazônia, essa área certamente será ampliada.

#### **4 . CONCLUSÃO**

A utilização de pellets de biochar em diferentes diâmetros proporcionou verificar resultados diferentes no cultivar sorgo BRS 330, uma vez tendo sido usado o mesmo peso de biochar por tratamento variando apenas o diâmetro do pellet. Ainda verificou-se que não houve diferença significativa de resultado misturando biochar de lodo de esgoto e biochar de

osso bovino, comparando-se ao biochar de lodo de esgoto nos diâmetros iguais e seus resultados. De maneira alguma, pode-se afirmar que biochar de lodo de esgoto teria um potencial superior ao biochar misto, apenas que neste plantio foi superior na produção, pois seria necessário continuar a plantar o mesmo cultivar e observar a interação do biochar com o solo, onde a adição de biochar funciona como um modificador de solo. Entretanto, pela qualidade visual e morfológica das plantas, pelo resultado da produção, o uso de biochar em diâmetros específicos para cada cultura, poderá representar no futuro uma contribuição para a produção de alimentos, sequestro de gases estufa e utilização segura dos resíduos.

## 5 . REFERÊNCIAS

ADENE/INETI. Fórum Energias Renováveis em Portugal - Relatório Síntese. Ed. ADENE/INETI, Lisboa. (2001).

VIEIRA N.D. Estudo da pirólise de lodo sanitário visando, sua valorização energética. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2012.

LEHMANN, J. & STEPHEN J. Biochar for environmental management: science and technology. Earthscan, 2009.

LIMA, S. L.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; TAMIOZZO, S.; BUCK, G. B.; MARIMON, B. S. Biochar as substitute for organic matter in the composition of substrates for seedlings. Acta Scientia, v. 35, n. 3. Jul/sep, 2013.

GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The Terra Preta phenomenon – a model for sustainable agriculture in the humid tropics. Naturwissenschaften, v. 88, n. 1, p. 37-41, jan. 2001. <http://dx.doi.org/10.1007/s001140000193>

VERHEIJEN, F.; JEFFERY, S.; BASTOS, A.C.; VAN DER VELDE, M.; DIAFAS, F. Biochar application to soils: a critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. EUR 24099 EN. Luxembourg: Office for the Official Publications of the European Communities, 2010, 149p.

PEDROZA, M. M., *et al.* Balanço energético da pirólise de lodo de esgoto: uma abordagem das propriedades termodinâmicas do processo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 18., Foz do Iguaçu: Anais... Foz do Iguaçu: ABEP, 2010. p. 1 – 8.

- PEDROZA, M. M., *et al.* Características químicas e pirólise de borra de petróleo: uma revisão. *EDUCTE: Revista Científica do Instituto Federal de Alagoas, Maceió*, v. 1, n. 2, jan./jul. 2011.
- PEDROZA, M. M., *et al.* Produção e tratamento de lodo de esgoto: uma revisão. *Revista Liberato, Novo Hamburgo*, v. 11, n. 16, p. 89-188, 2010.
- BRASIL, 2006. Balanço energético nacional de 2005. Ministério das Minas e Energia. Brasília, 191 p.
- VALE, A, T.; GENTIL, L.; GONÇALVES, J.C.; COSTA, A.F. Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arábica*, L) e de madeira (*Cedrelinga carenaeformis* Duke). *CERNE*, v. 13, 2007, n.4, p. 416-420.
- MME-MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional 2007. Ano Base 2006. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro. 192p.
- 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*, v. 249, n. 2, p. 343-357, 2003.
- MARCHI, E. C. S. Influência da adubação orgânica e de doses de material húmico sobre a produção de alface americana e teores de carbono no solo. 2006. 46 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2006.
- LAVIOLA, B. G. *et al.* Efeito de diferentes substratos na germinação e no desenvolvimento inicial de jiloeiro (*Solanum gilo* Raddi), cultivar verde claro. *Ciência e Agrotecnologia*, v.30, n.3, p.415-421, 2006.
- GOMES, J. M. *et al.* Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. *Revista Árvore, Viçosa, MG*, v. 27, n. 1, p. 113-127, 2003.
- ZANETTI, M. *et al.* Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação do porta-enxerto limoeiro, cravo em ambiente protegido. *Revista Brasileira Fruticultura, Jaboticabal*, v. 25, n. 3, p. 508-512, 2003.
- ARRUDA, M. R. *et al.* Enraizamento de estacas herbáceas de guaranazeiro em diferentes substratos. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, v. 31, n. 1, p. 236-24, 2007.
- MENDONÇA, V. *et al.* Diferentes substratos e recipientes na formação de mudas de mamoeiro, Sunrise Solo. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, v. 25, n. 1, p. 127-130, 2003.
- BALDOCK, J.A.; SMERNIK, R.J. Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. *Organic Geochemistry*, v. 33, p. 1093-1109, 2002.
- Quintana, N.R. Análise econômica da aplicação de biossólido na agricultura. (Tese de Mestrado), Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, f. 133, 2006.

CÉZAR, R.; SILVA, M.; COLONESE, J.; BIDONE, E.; EGLER, S.; CASTILHOS, Z.; POLIVANOV, H. Influence of the properties of tropical soils in the toxicity and bioavailability of heavy metals in sewage sludge-amended lands. *Environmental Earth Science*, Berlin, v. 66, p. 2281-2292, 2012.

PETTER, F.A. Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agronômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, f. 130, 2010.