

**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

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

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

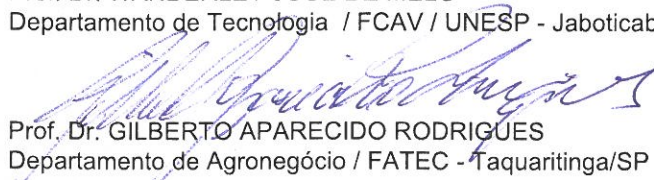
AUTOR: UBAJARA CESARE MOZART PROENÇA

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

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

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

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

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 km² desta região seria TPIs. Com o prosseguimento das pesquisas sistemáticas na Amazônia, essa área certamente será ampliada.

2. JUSTIFICATIVA

O estudo de tecnologias que venham se somar a mitigações dos efeitos danosos causados pelo homem no planeta deve ser cuidadosamente estudado, pois a relação entre os resíduos produzidos por povos pré-históricos e os resíduos produzidos pelo homem na atualidade, diferem-se em ordem contrária á necessidade do planeta.

Na atualidade, o homem produz resíduos orgânicos em enormes quantidades, tal qual o lodo de esgoto, ossos e carcaças de animais, resíduos de origem vegetal e de agroindústria. A técnica de pirólise da biomassa surge como alternativa bastante interessante na gestão destes resíduos, gerando elementos orgânicos e inorgânicos mais estáveis, com a capacidade de aprisionar elementos os quais sem passar por esse processo térmico, seriam prováveis contaminantes do solo e lençóis freáticos tal qual o caso do lodo de esgoto, o qual devido a sua constituição pode propiciar aumentos de metais pesados e patologias. O método pirolise, converte a biomassa em três produtos: carvão (biochar), o bio-óleo e o biogás.

Entre todos os benefícios que ocorrem no emprego da pirólise de biomassa, o biochar

se destaca, pois além de melhorar sensivelmente a qualidade do solo quando utilizado e atua como um potente sumidouro de CO₂, auxiliando como uma das medidas a serem empregadas pelo homem para a mitigação do aquecimento global.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Descritos por Charles Hartt e Joseph Beal Steere, a Terra Preta de Índio(TPI), teve suas primeiras descrições nos anos de 1870 e 1871 (WOODS & DENEVAN, 2006). A enorme quantidade de carbono existente na Terra Preta de Índio, foi estimada em até 70 vezes superior aos solos adjacentes, embora esse elemento carbono não seja um nutriente, ele os retém e os tornam disponíveis às plantas, estabiliza a matéria orgânica do solo, aumenta os níveis de pH, propicia o aumento da microbiota do solo, conserva a umidade do solo reduz a lixiviação de nutrientes, mantendo e elevando a fertilidade do solo e, conseqüentemente, a produtividade agrícola (LEHMANN *et al.* 2003; STEINER *et al.* 2004).

Há indícios que o surgimento do homem na Amazônia coincide com o final da última glaciação do hemisfério norte, o qual ocupou áreas das mais diversas, tais como terras altas, cerrados, várzeas, florestas e alagados (ROOSEVELT, 1994, ROOSEVELT 2002; OLIVER, 2001), o que pode ser identificado por ocupação paleoindígena (ROOSEVELT, 1991; GOMES, 2002). Nestas regiões, a presença de inúmeros sítios pré-cerâmicos, como exemplo do sítio Caverna da Pedra Pintada, no município de Monte Alegre, com 11.200 anos AP (ROOSEVELT *et al.*1996). Em quase todos esses sítios, os resíduos encontrados dos habitantes mostravam uma alimentação com base em frutos e plantas da floresta, além de moluscos, peixes, tartarugas fluviais e pouca utilização de mamíferos terrestres.

Segundo Lehmann *et al.* (2003), as sociedades indígenas formaram extensos depósitos de resíduos que interagiram com o solo, e dessa forma alterando-o. A interação entre o homem e paisagem foi tão marcante podendo ser observadas ainda nos dias atuais nas planícies de inundação do Marajó, nas planícies costeiras das Guianas e Llanos de Mojos, na Bolívia. Essas intervenções no relevo seriam para promover os assentamentos das tribos, infraestrutura de transporte e uso agrícola (ERICKSON, 1995; ERICKSON, 2003; ROOSEVELT, 2000; ROOSEVELT, 2002; HECKENBERGER *et al.*, 2003). Muitos aspectos atuais do relevo da Amazônia tidos como “naturais”, podem ter sido resultado de atividades humanas desses povos pré-históricos (ROOSEVELT, 2000; NEVES *et al.*, 2003). Manchas no solo de cor negra e ricas em matéria orgânica, solo provido de fragmentos de artefatos cerâmicos, conhecidas como Terra Preta de Índio (TPI), seria o aspecto mais marcante deixado pelo homem pré-histórico (KÄMPF & Kern, 2005).

Renomados estudiosos são convictos na afirmação que a alta fertilidade química desses solos teria sido obtido graças ao prolongado tempo de ocupação humana na pré-histórica (EDEN et al., 1984; PABST, 1985, PABST 1991; ANDRADE, 1986; KERN, 1996; WOODS & MCCANN, 1999; COSTA & KERN, 1999; GLASER et al., 2001; LIMA et al., 2002; KAEMPF et al., 2003; LEHMANN et al., 2003; HECHT, 2003; GERMAN, 2003; RUIVO et al., 2003; NEVES et al., 2003; COSTA et al., 2003; KERN et al., 2003; GLASER & WOODS, 2004; KAEMPF & KERN, 2005). A TPI contrapõe-se as terras circunvizinhas, as quais em sua maioria são ácidas e pobres em nutrientes, o que segundo Meggers (1996), contribuiu como limitação natural ao desenvolvimento humano na Amazônia.

Modificações expressivas no relevo na região oriental do estado do Acre, foram descritas por Ranzi e Aguiar (2004), como feições geométricas denominadas geoglifos, possuindo centenas de quilômetros, entalhados ou esculpidos no solo, desde as proximidades das nascentes do Rio Acre, no Peru, até a sua desembocadura no Rio Purus, em pleno estado do Amazonas, sendo orientado aparentemente às alturas da margem leste do Rio Acre. A grande extensão dos geoglifos, alcançando regiões do Departamento de Pando na Bolívia, exibe o tamanho e a força dessas nações pré-históricas que ocuparam essas regiões.

Quase uma década de estudos sobre os costumes dos Índios do Parque do Xingu feitas por Heckenberger et al. (2003), concluíram que seus antepassados datam de 1.200 a 1.600 anos AD (depois de Cristo), modificaram o solo, florestas e deixaram grandes evidências físicas nos terrenos, destacando obras civis de grande porte. Segundo Roosevelt (1991), ao utilizar datações por radio-carbono na matéria orgânica, contida em fragmentos cerâmicos de sambaquis, no Médio e Baixo Amazonas, datam as sociedades ceramistas em aproximados 3 mil anos, sendo essa matéria orgânica identificada como sendo de peixes e moluscos, abundantes nas planícies e estuários amazônicos.

Os sambaquis cerâmicos presentes no Médio e Baixo Amazonas, abrangem uma área de aproximadamente 20 hectares (ROOSEVELT, 1994). A atividade ceramista fixou o homem nestas regiões durante 4 mil anos, e além da atividade ceramista, havia uma produtiva horticultura de mandioca (*Manihot esculenta*) (ROOSEVELT, 1991). Entre Santarém e Xingu, por volta de 4.500 e 2.000 anos AP, grandes populações indígenas de horticultores e ceramistas, se estabeleceram ao longo das várzeas dos principais rios (HECKENBERGER et al., 1999; HECKENBERGER et al 2001).

A integração do homem pré-histórico com a paisagem fluvial amazônico é ressaltada pela abundante fauna ribeirinha, que fornece a proteína necessária para a aldeia, e a argila necessária para fomentar a indústria cerâmica, encontrada por quase toda a várzea explorada (ROOSEVELT, 1991; ROOSEVELT, 2002).

A observação dos solos habitados por índios, os quais tinham por hábito enterrar restos vegetais e animais, além de promoverem queimadas controladas, levaram a um aumento da fertilidade do solo, melhorando parte do solo amazônico, tornando-o sustentável para a agricultura de subsistência (COCHRANE & SANCHEZ, 1980).

Vieira e Santos (1987), relatam em seus estudos que os solos amazônicos são altamente intemperizados e ácidos, com baixa CTC (capacidade de troca catiônica) e baixa fertilidade natural, o que contrasta com manchas de solo de coloração escura, em toda a extensão da Amazônia, habitadas pelas comunidades indígenas. Os latossolos com horizonte A antrópico, conhecidos também como Terra Mulata, são provindos da intensa atividade agrícola humana pré-histórica, que descartavam seus resíduos orgânicos em solos circunvizinhos, e os eliminavam com “queimas controladas” originando o biocavão, sendo o agente responsável em aumentar a matéria orgânica do solo, diminuir a lixiviação e ampliar a fertilidade do solo (SOMBROEK, 1966; FALESI, 1972; SOMBROEK et al., 2002; FALCÃO et al., 2003).

Os sítios de TPI são numerosos e de extensões bastante amplas (KAEMPF & KERN, 2005), possuindo na região Amazônica brasileira a maior parte deles. As idades dos sítios de TPI são inferiores a 3.000 anos AP (NEVES et al. 2003; SEDA, 2001; KAEMPF & KERN, 2005) e em sua maioria datam de 2.000 anos AP. As Terras Pretas seriam atribuídas aos povos coletores e horticultores, segundo Kämpf & Kern (2005), que viveram 1.000 anos antes da fase dos cultivos agrícolas intensivos, condizente com a ocupação da grande planície que sofreria inundação, incorporando uma rica quantidade de biomassa vegetal. A instalação dessas planícies, permitiu a “captura” do Rio Solimões, responsável em arrastar e depositar sedimentos sub-andinos nas áreas alagadas, fertilizando as planícies. As condições climáticas, biomassa vegetal muito rica e a prática agrícola fixou o homem nesta região, suas práticas e seus resíduos, deram origem então ao momento a formação da TPI (NEVES et al. 2003; KÄMPF & KERN, 2005).

As TPI são também utilizadas como divisões arqueológicas, estabelecendo limites de atividade humana pré-histórica, localizados em terraços elevados, paralelos aos rios, variando de 1 a 500 hectares, e assim, nas regiões entre os sítios são conhecidos como refugio ocupacional do sítio arqueológico (ROOSEVELT, 1991; DENEVAN, 2001).

Os solos da várzea dos rios amazônicos, viabilizaram a agricultura pré-histórica graças à sua fertilidade do solo, onde a agricultura intensiva (DENEVAN, 2001; 2004) poderia prosperar, principalmente às margens de rios de águas claras, onde seu solo era renovado a cada ciclo de inundações anuais, sendo sua fertilidade um contraponto ao solos ácidos e pobres de terra firme (MEGGERS, 1996; ROOSEVELT 2000). Segundo Denevan (1992;

2001), o desenvolvimento ocorreu de forma similar ao de outras regiões do mundo, tal qual a Mesopotâmia, na região do Rio Nilo, no Egito. A população pré-histórica era estimada entre 5,7 e 10 milhões de habitantes, distribuídas em aldeias e povoados praticantes da agricultura intensiva de raízes e grãos. Essa grande população, principalmente nas áreas de savana e floresta, ambientes fluviais e lacustres (às margens de um lago), remodelaram a paisagem amazônica. Os solos de terra firme também eram utilizados, e ao se mostrarem esgotados de fertilidade eram abandonados, dando origem a novos horizontes de solo superficial, via pedogênese em clima úmido tropical, ricos em húmus e fixou os nutrientes contidos nos resíduos deixados pela passagem do homem, formando, graças a interação físico química entre o resíduos, solo e as condições climáticas, solos férteis conhecidos em inúmeros sítios de Terra Preta de Índio (KERN, 1996; KÄMPF & KERN, 2005).

Este processo humano de fertilização de solos foi descontinuado, interrompido no início de nosso período histórico, através dos colonizadores europeus que determinaram quase que a extinção desses povos através da dispersão, escravidão e doenças, antes não existentes na população indígena (MORÁN, 1990). Semelhante à TPI, o processo de pirólise de biomassa é um fator indispensável para o surgimento do biochar, que se assemelha muito à TPI, no que diz respeito a condicionar o solo, elevar suas condições de fertilidade e também por apresentar a uma possibilidade de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE), os quais são referenciados ser um dos causadores das mudanças climáticas. Neste aspecto, as TPI e o biochar, tem comprovada capacidade de sumidouro de CO₂, propiciando aumento do armazenamento de carbono no solo (INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE-IPCC, 2014a).

Na atualidade, pesquisas são direcionadas na aplicação de biochar no solo como o objetivo de sequestrar carbono, devido a natureza recalcitrante de sua estrutura, e sua baixa taxa de degradação, a qual retarda a emissão de carbono presente no material e, conseqüentemente eleva a concentração de carbono no solo (LEHMANN; JOSEPH, 2009; WOOLF et al., 2010). Além disso, para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, vem se empregando o uso de biochar (GRABER, 2009), reaproveitando os resíduos advindos do próprio sistema de produção agrícola e industrial. Outra face importante é a conversão de biomassa como uma medida alternativa para a produção de energia o qual diminui a necessidade de combustíveis fósseis, o qual mitiga a emissão de gás carbono, tanto pela queima desses combustíveis, como também o carbono existente na biomassa, o qual será fixado na forma de carvão e ficará não retornando para a atmosfera.

Outro benefício oferecido pela pirólise da biomassa, é a destinação dos resíduos orgânicos provindos dos setores agrícolas, resultante de material vegetal vindo de colheitas e

podas, e de modo similar os resíduos orgânicos da indústria de produção animal e cidades (LEHMANN; JOSEPH, 2009).

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (2012), tanto setor agrícola como a agroindústria, demonstram pouco interesse no destino final dos resíduos produzidos em suas linhas de produção e menos ainda em possíveis tratamentos da biomassa, que destinada e tratada adequadamente, poderia gerar recursos financeiros. O gerenciamento adequado de resíduos contribui para a diminuição da poluição, melhora a saúde pública e pode oferecer inúmeras oportunidades.

4. REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. Investigación arqueologica de los Antrosoles de Araracuara. Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales [S.I.], v. 31, p. 91, 1986.

COCHRANE, T. T.; SANCHEZ, P. A. Land resources, soil properties and their management in the Amazon region: a state of knowledge report. Cali; CIAT, 1980. 65 p. 26 International Conference on Amazon Land Use and Agricultural Research, Cali, Colombia, 1980.

COSTA, J. A. Caracterização dos sítios arqueológicos com terra preta de caxiuanã. MCT/MPEG. Belém, Pará, p.15. 2003.

COSTA, M. L.; KERN, D. C. Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon. Journal of Geochemical Exploration [S.I.], v. 66, n. 1/2, p. 369, 1999.

DENEVAN, W. Cultivated landscapes of native Amazonia and the Andes. Oxford: Oxford University Press, 2001.

DENEVAN, W. Semi-intensive pre-European cultivation and the origins of Anthropogenic Dark Earths in Amazonia. In: GLASER, B. et al (Ed.). Amazonian Dark Earths: Explorations in space and time. Berlin: Springer, 2004. p. 135-143.

DENEVAN, W. The aboriginal population of Amazonia. In: DENEVAN, W.; MELLO, J. N. (Ed.). The native population of the Americas in 1492. Madison: University of Wisconsin Press, 1992. p. 205-234.

EDEN, M. J. et al. Terra Preta soils and their archaeological context in the Caquetá basin of south-east Colombia. American Antiquity [S.I.], v. 49, n. 1, p. 125-140, 1984.

ERICKSON, C. Historical ecology and future explorations. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). Amazonian dark earths - origin, properties, and management. Dordrecht: Kluwer Academic Publication, 2003. Cap.500. p. 455.

ERICKSON, C. L. Archaeological methods for the study of ancient landscapes of the Llanos de Mojos in the Bolivian Amazon. In: STAHL, P. W. (Ed.). *Archaeology in the lowland American tropics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. p. 66-95.

FALCÃO, N. P. S.; COMERFORD, N.; LEHMANN, J. Determining nutrient bioavailability of Amazonian Dark Earth soils: methodological challenges. In: LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. (Ed.). *Amazonian Dark Earths; origin, properties, managements*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 255-270.
http://dx.doi.org/10.1007/1-4020-2597-1_14

FALESI, I. C. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia brasileira (Parte I Zoneamento Agrícola da Amazônia). 1. ed. Brasília: IPEA, 1972. 67p.

GERMAN, L. A geographical method for Anthrosol characterization in Amazonia: contribution to method and human ecological theory. In: GLASER, B.; WOODS, W. I. (Ed.). *Amazonian dark earths: explorations in space and time*. Berlin: Springer, 2004. Cap.51. p. 29.

GERMAN, L. A. Ethnoscience understandings of Amazonian Dark Earths. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian Dark Earths: Origin, properties and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. Cap.201. p. 179.

GLASER, B. et al. The Terra Preta phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften [S.I.]*, v. 88, n. 1, p. 37-41, 2001.

GLASER, B.; WOODS, W. I. (Eds.) *Amazonian Dark Earths: Explorations in space and time*. Berlin: Springer, p.216ed. 2004.

GOMES, D. M. C. *Cerâmica arqueológica da Amazônia*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo; Fapesp; Imprensa Oficial do Estado, 2002. (Vasilhas da Coleção Tapajônica MAE-USP).

GRABER, E.R. Biochar for 21st century challenges: Carbon sink. Energy source and soil conditioner. 2009. Disponível em: <<http://gwri.technion.ac.il/pdf/DG/2009/17.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2014.

HECHT, S. B. Indigenous soil management and the creation of Amazonian Dark Earths: implications of Kayapó practices. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian Dark Earths: origin, properties and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 355-372.

HECKENBERGER, M. J. et al. Amazonia 1492: pristine forest or cultural parkland? *Science [S.I.]*, v. 301, p. 1710, 2003.

HECKENBERGER, M. J. et al. Amazonia 1492: pristine forest or cultural parkland? *Science [S.I.]*, v. 301, p. 1710, 2003.

HECKENBERGER, M. J. et al. Of lost civilizations and primitive tribes, Amazonia: Reply to Meggers. *Latin American Antiquity [S.I.]*, v. 12, p. 328-333, 2001.

HECKENBERGER, M. J. et al. Village size and permanence in Amazonia: two archaeological examples from Brasil. *Latin American Antiquity* [S.I.], v. 10, n. 4, p. 535, 1999.

INSTITUTO DE PESQUISA E ECÔNOMIA APLICADA. Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas relatório de pesquisa. Brasília, 2012. 134 p. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/imagens/stories/PDFs/relatórioPesquisa/120917-relatório-resíduos-orgânicos.pdf>. Acesso em: 10 dez 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2014: mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2014a 179p.

KÄMPF, N. et al. Classification of Amazonian Dark Earths and other ancient anthropic soils. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Origin, properties and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 77-102.

KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, P. et al (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. Cap.320. p. 277.

KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, P. et al (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. Cap.320. p. 277.

KERN, D. C. et al. Distribution of Amazonian dark earths in the Brazilian Amazon. In: LEHMANN, J. K., D.C.; GLASER, B. AND WOODS, W.I. (Ed.). *Amazonian Dark Earths: origin, properties and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. Cap.75. p. 51.

KERN, D. C. Geoquímica e pedogequímica de sítios arqueológicos com terra preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel - Pará). (1996). 124 f., 1996. Tese de doutorado - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.

KERN, D. C.; KÄMPF, N. O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na Região de Oriximiná-PA. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* [S.I.], v. 13, p. 219-25, 1989.

LEHMANN, J. et al. Soil fertility and production potential. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian dark earths: Origins, properties, management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 105-124.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management: an introduction. In:_____.(Ed.). *Biochar for environmental management science and technology*. New York: Earthscan 2009.p. 1-9.

LIMA, H. N. et al. Pedogenesis and pre-colombian land use of "Terra Preta Anthrosols"("Indian black earth") of western Amazonia. *Geoderma* [S.I.], v. 110, p. 1, 2002.

- MCCANN, J. M. et al. Organic matter and Anthrosols in Amazonia: Interpreting the Amerindian Legacy. In: REES, R. M. et al (Ed.). Sustainable management of soil organic matter. Wallingford: CAB International, 2001. Cap.189. p. 180.
- MEGGERS, B. J. Amazonia: man and culture in a counterfeit paradise. Revised edition. ed. Washington: Smithsonian Institution Press, 1996.
- MORÁN, E. F. A ecologia humana das populações da Amazônia. Petrópolis: Vozes, 1990. (Ecologia & Ecosofia).
- NEVES, E. G. et al. Historical and socio-cultural origins of Amazonian dark earths. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). Amazonian dark earths: Origin, properties and management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 29-50.
- OLIVER, J. R. The archaeology of forest foraging and agricultural production in Amazonia. In: MCEWAN, C. et al (Ed.). Unknown Amazon. London: The British Museum Press, 2001. p. 50-85.
- PABST, E. Critérios de distinção entre Terra Preta e Latossolo na região de Belterra e seus significados para a discussão pedogenética. Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi [S.I.], v. 7, n. 1, p. 5-19, 1991.
- PABST, E. Terra Preta do Índio: Chemische Kennzeichnung und ökologische Bedeutung einer brasilianischen Indianerschwarzerde. (1985). 362 f. Dissertação de mestrado - Fakultät für Geowissenschaften, Ludwig-Maximilian Universität, München, 1985.
- RANZI, A.; AGUIAR, R. Geoglifos da Amazônia. Perspectiva aérea. Florianópolis: Faculdades de Energia, 2004.
- RODRIGUES, T. E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ, V. H. et al (Ed.). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. Cap.60. p. 19.
- ROOSEVELT, A. C. Amazonian anthropology: Strategy for a new synthesis. In: ROOSEVELT, A. C. (Ed.). Amazonian indians from prehistory to the present: Anthropological perspectives. Tucson: University of Arizona Press, 1994. p. 1-29.
- ROOSEVELT, A. C. Arqueologia Amazônica. In: CUNHA, M. C. (Ed.). História dos índios no Brasil. São Paulo: Cia. das Letras, 2002. p. 53-86.
- ROOSEVELT, A. C. Determinismo ecológico na interpretação do desenvolvimento social indígena da Amazônia. In: NEVES, W. (Ed.). Origem, adaptações e diversidade biológica do homem nativo da Amazônia: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1991. Cap.159. p. 103.
- ROOSEVELT, A. C. The Lower Amazon: A dynamic human habitat. In: LENTZ, D. L. (Ed.). Imperfect Balance: Landscape transformations in the precolumbian Americas. New York: Columbia University Press, 2000. p. 455-491.
- ROOSEVELT, A. Paleo-indian cave dwellers in the Amazon: The Peopling of the Americas. Science [S.I.], v. 272, n. 19, p. 373-84, 1996.

RUIVO, M. D. L. P. et al. População microbiana em solo terra preta arqueológica: um indicativo da qualidade do solo. In: 9 Congresso Brasileiro de Geoquímica, Belém. 2003. p.232-233.

SANCHEZ, P. A.; COCHRANE, T. T. Soils constraints in relation to major farming systems of tropical America. International Rice Research Institute [S.I.], p. 106-139, 1980.

SEDA, P. Muito mais de 500 anos: desenvolvimento cultural na pré-história brasileira - breve panorama. Boletim do Instituto de Arqueologia Brasileira [S.I.], n. 11, p. 1-27, 2001.

SOMBROEK, W. Amazon landforms and soils in relation to biological diversity. Acta Amazônica [S.I.], v. 30, p. 81, 2000.

SOMBROEK, W. et al. Amazonian Dark Earths as carbon stores and sinks. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). Amazonian Dark Earths: origin, properties and management. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2003. Cap.139. p. 125.

SOMBROEK, W. G. Amazon Soils – A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Wageningen: Center for Agriculture Publications and Documentation, 1966. 303p.

SOMBROEK, W. G.; KERN, D.; RODRIGUES, T.; CRAVO, M. S.; JARBAS, T. C.; WOODS, W.; GLASER, B. Terra Preta and Terra Mulata: Pré-Colombian Amazon Kitchen midden and agricultural fields, their sustainability and their replication. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17., 2002, Thailand. Anais. Thailand: WSSS, 2002, p. 1-9.

STEINER, C. et al. Microbial response to charcoal amendments of highly weathered soils and Amazonian Dark Earths in Central Amazonia: Preliminary results. In: WOODS, B. G. A. W. I. (Ed.). Amazonian DarkEarths: explorations in space and time. Springer, Berlim, 2004. p. 195-212.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. Amazônia: seus olhos e outros recursos naturais. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. 416p.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. Amazônia: seus solos e outros recursos naturais. São Paulo: Editora Ceres, 1987.

WOODS, W. I.; DENEVAN, W. Discovery, study, and bibliography of Amazonian Dark Earths, 1870s-1970s. In: HERLIHY, P. H.; REVELS, C. S. (Ed.). Ethno and Historical Geographic Studies in Latin America: Essays Honoring William V. Davidson. Baton Rouge: Geoscience Publications (Published in 2008), 2006. Cap.298. p. 283. (Geoscience and Man series).

WOODS, W. I.; MCCANN, J. M. The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths. In: The Yearbook of the Conference of Latin American Geographers, Austin. University of Texas, 1999. p.7-14.

WOODS, W. I.; MCCANN, J. M. The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths. In: The Yearbook of the Conference of Latin American Geographers, Austin. University of Texas, 1999. p.7-14.

WOOLF, D.; AMONETTE, J.E.; PERROTT, F.A.S.; LEHMANN, J.; JOSEPH, S.
Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*, London, v. 1,
n. 56,p. 1-9, 2010.

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

Resumo: O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de peletizadora mecânica destinada a fabricar pellets de lodo de esgoto para serem convertidos em biochar. A peletizadora consiste em uma estrutura retangular metálica, contendo um cilindro automotivo, onde é inserido e prensado o lodo de esgoto ou outros materiais previamente preparados, sendo comprimido por um pistão contra peneiras que possuem furos de diâmetros pretendidos. A força utilizada na prensagem dos pellets pode ser exercida com força manual ou através de macaco automotivo mecânico ou hidráulico, dependendo para isso da consistência moldável do material. Após a produção dos pellets, deverão ser secos ao sol ou em desidratadores, para a perda do excesso de humidade. Os diâmetros confeccionados foram 3, 5, 7 e 9 mm de diâmetro.

Palavras-chave: Peletizadora, biochar, diâmetro e lodo de esgoto.

CHAPTER 2 - PROTOTYPES OF A PELETIZING MACHINE FOR PRODUCTION OF SEWAGE SLUDGE PELLETS

Abstract: The present work presents the development of a prototype of mechanical pelletizer destined to manufacture pellets of sewage sludge to be converted into biochar. The pelletizer consists of a rectangular metal structure, containing an automotive, cylinder where the sewage sludge or other previously prepared materials is inserted and pressed, being compressed by a piston against sieves having holes of desired diameters. The force used in pellet pressing can be exerted by manual force or by mechanical or hydraulic automotive jack, depending on the moldable consistency of the material. After the pellets are produced, they should be dried in the sun or in dehydrators, to avoid excess moisture. The diameters made were 3, 5, 7 and 9 mm in diameter.

Keywords: Pelletizing, biochar, diameter and sewage sludge.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de biochar na agricultura mundial tem origem nas recentes descobertas da “Terra Preta de Índio” (TPI), em terras amazônicas, onde sua elevada concentração de nutrientes, elevado pH e alta concentração de matéria orgânica (MO), resultado do material orgânico pirolisado e adicionado ao solo desta região. O conhecimento da importância do diâmetro do biochar empregado no uso agrícola é bastante escasso, entretanto a capacidade de sequestro de carbono em diferentes solos é bastante conhecido (LEHMANN et al., 2006).

O biochar tem potencial de ser um produto a entrar no mercado por ter características de compensação de carbono (GALINATTO et al., 2011), atuar como sumidouro de gases de efeito estufa (SINGH et al., 2010), e é uma forma de destinar, de modo sustentável, inúmeros resíduos com propriedades físicas e químicas diferentes de origem agrícola, florestal, lodo de esgoto ou até mesmo de resíduos do processamento de animais (MIERZWA-HERSZTEK et al., 2016), e ainda trás benefícios ao solo, pois o uso do biochar proporciona o aumento da atividade micorrízica (WARNOCK et al, 2007).

Quintana (2006) destaca o uso do lodo de esgoto incorporado no solo promovendo de reciclagem de nutrientes, e juntamente com a adição de matéria orgânica em atividades agrícolas e florestais, o que levaria a recuperar áreas degradadas, redução do uso de fertilizantes minerais, que é explicado pelo aumento das condições físicas e químicas e biológicas que o lodo de esgoto propicia.

Com todas essas considerações, a utilização de biochar pode auxiliar na solução de problemas causados pelas mudanças climáticas, pois seu uso tem revelado papel importante na cadeia energética de carbono-negativo e sustentável, e que permite diminuir a pegada ecológica do carbono. Entretanto, no mercado nacional não é encontrado máquinas para a conversão de biomassas em biochar, e muito menos com diâmetros específicos, o que torna esse trabalho pioneiro. Para a produção de calor, utilizamos um forno elétrico de uso odontológico, o qual estava desativado e descartado. Foi recuperado as funções elétricas do forno, fazendo-o gerar calor de até 1000 °C. Para a leitura de temperatura, fora utilizado um termômetro a laser. Em seguida foi necessário a adaptação de uma mufla para queima dos pellets na condição de temperatura de pirólise.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A máquina foi produzida com materiais encontrados facilmente em depósitos de ferro velho, comprados por quilo (R\$ 2,00 o quilo) sendo constituída de chapas metálicas, capa do cilindro de motor de caminhão em aço, entre outros componentes de fácil acesso. Seu peso

total é de 11 quilos. Foram ainda utilizados: solda elétrica, lixadeira, furadeira e pistola de pressão para pintura com seus respectivos componentes e materiais de uso (Figura 1). O custo estimado ficou em torno de R\$ 100,00.



Figura 1: Peletizador

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

Sua base é formada por uma chapa em forma de U (apenas utilizado esse formato por ter sido encontrada dessa maneira), com comprimento de 20 cm, 11 cm de largura e 0,7 mm de espessura. Nesta chapa, a qual serve de base para a máquina (A), foi soldado as duas chapas laterais e dois calços de chapa em L (B1 e B2), que serviram de reforço e apoio elevado para as chapas peneiras, sendo de 10 cm a distância entre as chapas L e com uma elevação em relação da base de 5 cm.

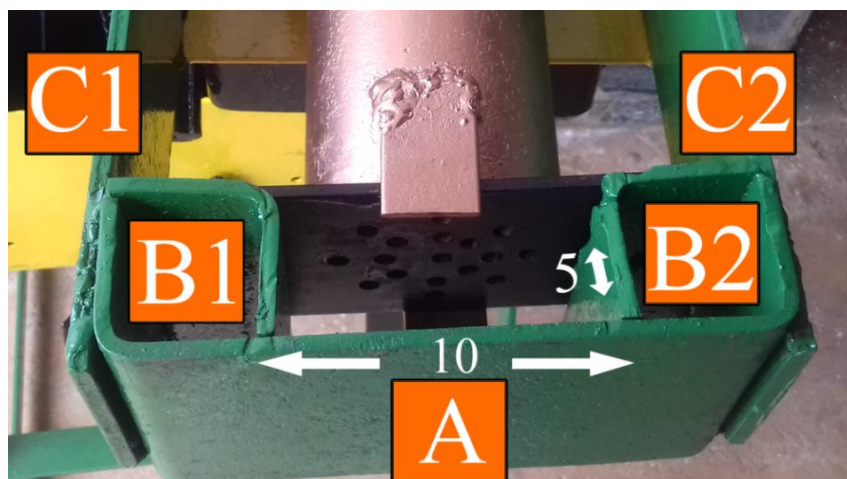


Figura 2: Base da peletizadora.

A) Base da máquina, 20 cm x 11 cm x 0,7 cm de diâmetro.

B) (1 e 2) Calço em forma de L, 11 cm x 5 cm x 5 cm x 0,7 de diâmetro.

C) (1 e 2) Chapas laterais, 65 cm x 8 cm x 0,7 cm de espessura.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

A parte superior da estrutura (figura 3), foi formada por um cano quadrado (D), com dimensões de 20 cm x 5 cm x 0,7 cm, contendo uma porca metálica (E) de 7 cm x 2cm externo e 4 cm x 2 cm interno de diâmetro, soldada no centro inferior do cano, servindo de base para a colocação do macaco hidráulico. Nele também foram soldadas as estruturas laterais (C1 e C2), 65 cm x 8 cm x 0,7 cm de espessura.

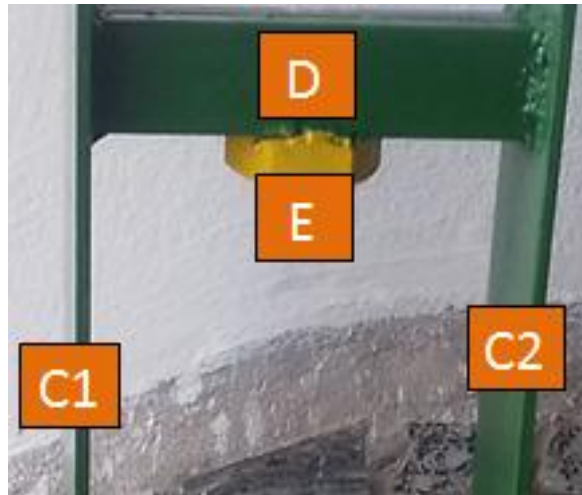


Figura 3: Parte superior da peletizadora.

C) (1 e 2) Chapas laterais da máquina, 65 cm x 8 cm x 0,7 cm de espessura.

D) Cano quadrado superior, 20 cm x 5 cm x 0,7 cm de diâmetro.

E) Porca auxiliar para fixação do macaco hidráulico, 7 cm x 2cm externo e 4 cm x 2 cm interno de diâmetro.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

No centro da máquina encontra-se o cilindro (F) móvel, que pode ser retirado a qualquer momento, facilitando sua limpeza e troca de peneira o qual serve de recipiente para prensar a biomassa. Feita em aço, de volume aproximado de 0,750 L, sendo 8 cm o diâmetro do cilindro com 15 cm de altura e 0,5 cm de espessura de parede, tendo duas chapas auxiliares soldadas no cilindro (G), as quais auxiliam a fixação da peneira. Há ainda, duas chapas soldadas (H) nas chapas laterais (C1 e C2), que proporcionam estabilidade ao cilindro (Figura 4).

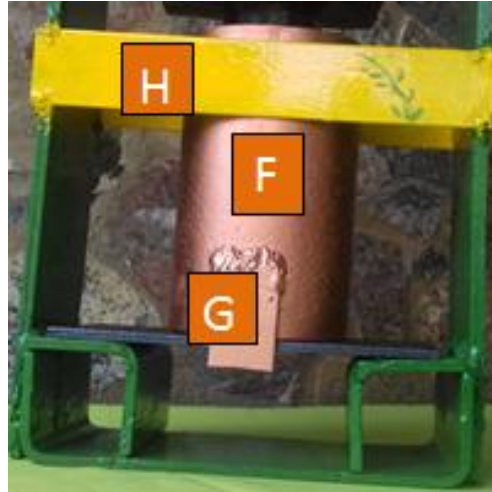


Figura 4: Cilindro e partes auxiliares.

F) Cilindro em aço (camisa de motor de caminhão), 8cm x 15 cm x 0,5 cm.

G) Duas chapas soldadas no cilindro, 7 cm x 3,5 cm x 0,5 cm.

H) Duas chapas soldadas nas laterais da máquina, auxiliando na estabilidade do cilindro, 21 cm x 3 cm x 0,5 cm.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

A parte da principal da máquina é o pistão (Figura 5) o qual exerce força sobre a massa a ser peletizada. Este é confeccionado de material ferroso, sendo dividido em três partes: uma superior onde será exercida força (I), um cano central (J) e um disco de diâmetro minimamente menor do que a do cilindro (K), podendo com essa condição, passar pelo interior do cilindro sem ficar preso ou permitir perda da pressão exercida no material fazendo-o sair apenas pelos orifícios da peneira com os diferentes diâmetros correspondentes.

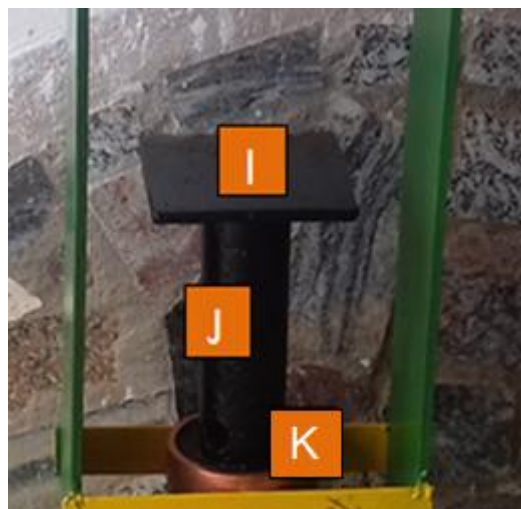


Figura 5: Descrição do pistão.

I) Parte superior do pistão, 10 cm x 10 cm x 0,7 cm.

J) Cano de 6 cm de diâmetro x 18 cm de altura x 0,5 cm de diâmetro de espessura de parede.

K) Disco de prensagem, 8 cm de diâmetro x 0,5 cm de diâmetro de espessura, sendo lixado manualmente, adaptando perfeitamente ao cilindro.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

Para a elaboração dos pellets nos diâmetros pretendidos foi necessário utilizar uma peneira de formato retangular feita de chapa de ferro, que contenha furos no diâmetro escolhido. Sua dimensão é 18 cm x 9 cm x 0,7 cm . Foram produzidas quatro chapas (M) com 17 furos cada, sendo 3; 5; 7 e 9 mm de diâmetro, além de mais dois furos de 9 mm e diâmetro em cada chapa para que se necessário ser fixada na máquina aumentando sua estabilidade durante o processo, mas os ensaios preliminares mostraram não ser necessária a fixação. A colocação ou troca de peneira é bastante simples, bastando manualmente elevar o cilindro e encaixar a peneira ou mesmo substituir por outra. Foi confeccionada uma calha (L) em forma de U para facilitar a coleta dos pellets durante o processo de prensagem (Figura 6).



Figura 6 : Máquina, peneiras e calha.

L) Calha auxiliar para coleta dos pellets, em forma de U, nas seguintes dimensões: 120 cm de comprimento, tendo no formato em U, base maior 8 cm e suas laterais 4 cm e seu diâmetro é de 0,3 cm. Seu material é o galvanizado.

M) Peneiras: quatro variando os \varnothing em 3,5,7 e 9 mm, contendo 17 furos cada lâmina.

Fonte : PROENÇA, U. C. M.

O preparo do lodo de esgoto para que fluísse pelos furos da máquina peletizadora, consiste em sovar o material, adicionando água deionizada, até que atinja um ponto de consistência que permita a realização de uma prensagem de qualidade. Na Figura 7, foi preparado uma pequena quantidade de lodo a ser peletizado, foi utilizado uma colher de pedreiro para manipular a massa.



Figura 7: Preparo do loto para peletização.

Lodo de esgoto sendo sovado manualmente com colher de pedreiro, em uma superfície plástica, sendo adicionado água deionizada, buscando uma consistência adequada da massa, que permitindo facilmente a peletização.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

Neste estudo, foi produzido pellets puros de lodo de esgoto, pellets contendo 50% de lodo de esgoto (LE) e 50% de osso bovino (OB), pois o osso bovino possui um aporte de Mg e Ca. A fonte de osso escolhida foi a costela bovina, a qual passou por pirolise a 700°C, durante 30 minutos, e depois moída e inseridos à massa de LE, na proporção de 50 % da mistura (Figura 8, N). O lodo de esgoto foi pirolisado na temperatura de 400°C, durante 30 minutos. O tempo e as temperaturas de queima do lodo de esgoto e osso bovino, foram amplamente ponderados em estudos (PROENÇA et al, 2016). Para se produzir biochar de composição mista, o biochar de osso bovino moído é adicionado ao lodo de esgoto na proporção de 50% cada e vigorosamente sovado com colher de pedreiro, colocando apenas água deionizada, o suficiente para garantir a consistência moldável da mistura. A quantidade de água a ser inserida está relacionado com a umidade do lodo de esgoto utilizado.



Figura 8 : Biochar de osso bovino moído sendo adicionado ao lodo de esgoto
 N) Biochar moído em peneira fina (1m m).
Fonte: PROENÇA, U. C. M.

Um dos aspectos interessante a observar na pirolise do biochar, está na redução do peso dos materiais pirolisados, para facilitar o manejo, transporte e estoque. O lodo de esgoto pirolisado a 400°C, reduziu o peso em aproximadamente 73 %, enquanto o osso bovino reduz em cerca de 55% de seu peso inicial. A Figura 9 (O e P), identifica a pesagem de 1634 gramas de osso bovino que se converteram em uma temperatura de 700°C em 735 gramas de biochar de osso.



Figura 9 : Ossos de costela bovina crua e pirolisada.
Fonte: PROENÇA, U. C. M.

A produção dos pellets foi realizada de maneira bastante simples, bastando ser inserido o material a ser peletizado na consistência correta, escolha da peneira com o diâmetro determinado, ajustar a calha coletora de pellets, e aplicar a força necessária até que o pistão da máquina comprima o material a passar pelos orifícios (Figura 10). O diâmetro do pellets foi reproduzido fielmente, variando apenas o comprimento, o qual deverá ser seccionado manualmente de maneira a homogeneizar o produto. A força aplicada para a realização da tarefa pode ser a força humana (Q), mecânica ou hidráulica (R), dependendo da consistência do preparo da matéria prima (resíduos).



Figura 10: Utilização de força humana e mecânica.
 Q) Pistão sendo acionado pela ação da força humana.
 R) Pistão acionado por macaco mecânico.
Fonte: PROENÇA, U. C. M.

Para iniciar a confecção dos pellets, foi inserida a peneira com o diâmetro escolhido(S) na base da máquina e colocado o material até completar aproximadamente 2/3 do volume do cilindro (U), seguido de reposição do pistão, pressiona-se contra o material (V). Tal tarefa é facilitada pela qualidade de textura da massa verificada no momento de seu preparo. Vista superior interna do cilindro posicionado acima da peneira com orifícios de 9 mm (T), (Figura 11).



Figura 11: Sequência operacional de peletização de biomassas.
 S) Elevação do cilindro para a colocação da peneira com o diâmetro escolhido.
 T) Vista interna do cilindro, equipamento pronto para receber a biomassa a ser peletizada.
Fonte: PROENÇA, U. C. M.



Figura 12: Sequência operacional de peletização de biomassas.

U) O material deve ser colocado até aproximadamente 2/3 do volume do cilindro.

V) Posicionamento do pistão de prensagem.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

Com o equipamento carregado de material na consistência e quantidade correta, e a calha coletora posicionada, foi pressionado o pistão com a mão direita e ao mesmo tempo a calha foi movida para frente pela outra mão do operador. A sincronia é necessária para não ocorrer sobreposição dos pellets ou entupimento da máquina. Após produzir e seccionar os pellets (manualmente), foram levados ao sol para atingirem um ponto de desidratação aceitável (umidade abaixo de 28 %) antes de irem para o forno, pois acima deste teor de umidade, os pellets se tornam muito quebradiços. A Figura 13 e 14, (X, Y, Z, A1, B1 e C1) a seguir, demonstra visualmente a sequência da peletização.



Figura 13: Sequência cronológica da peletização.

W) Posicionamento para início da peletização.

X) Peletização iniciada através da pressão exercida pelo pistão.

Y) “Macarrões” de lodo de esgoto tocado a superfície da calha em movimento.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

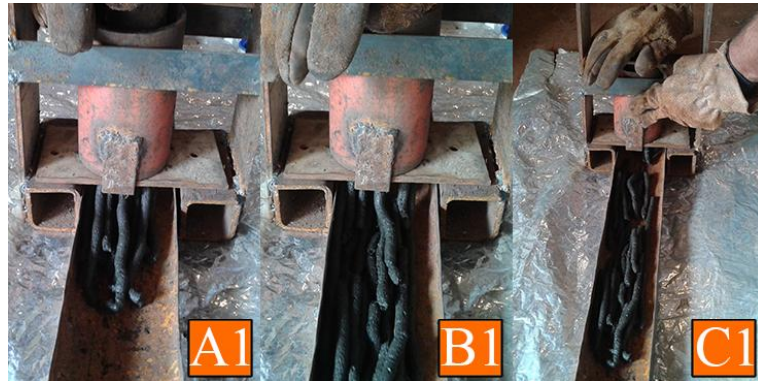


Figura 14: Sequência cronológica da peletização.

- A1) A massa prensada atinge a superfície da calha e acompanha sua direção.
 B1) Cilindro e calha em movimento contínuo uniforme.
 C1) Prensagem total do cilindro e massa totalmente peletizada.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

Depois de produzidos, os pellets de lodo de esgoto nos diâmetros 3, 5, 7 e 9 mm, foram colocados em um plástico prateado e expostos ao sol ou levados a desidratadores por quatro horas. É neste período de tempo em que se necessário secciona os “macarrões” de biomassa em pellets de tamanhos convenientes para o posterior manejo. A Figura 15, demonstra a colocação dos pellets na superfície plástica utilizando a calha como meio de transporte (D1); a seguir, vira-se cuidadosamente evitando que se amontoe a massa (E1); exposto ao sol por quatro horas, o material então é conduzido à pirolise (F1).



Figura 15 : Sequência do manejo dos pellets pré-produzidos.

- D1) Utilização da calha como meio de transporte até a área de secagem.
 E1) Na sequência, vira-se cuidadosamente evitando que se amontoe a massa.
 F1)) Expor ao sol por quatro horas o material produzido.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

3 . RESULTADOS E DISCUSSÃO

O protótipo da máquina para produzir pellets cumpriu com seu propósito e produziu pellets de lodo de esgoto e pellets de lodo de esgoto combinado osso bovino (já pirolizado),

nos diâmetros de 3, 5, 7 e 9 mm, condizentes com o tamanho das peneiras das máquinas adubadeiras agrícolas que existem no mercado.

Interpreta-se como biomassa toda a matéria orgânica vegetal formada pelo processo de fotossíntese, acumulando energia que pode ser pontualmente utilizada utilizando processos biológicos ou termoquímicos (SOUZA et al., 2002). Ainda pode-se adicionar a essas matrizes energéticas, o lodo de esgoto, produzido em grandes quantidades pelas cidades e indústrias onde o seu material orgânico é rico em elementos, mas possui alguns aspectos negativos devido sua origem, tal qual metais pesados, micróbios e odores. Entretanto, uma vez que processados em pirólise (CABALLERO et al., 1997), esses aspectos contaminantes e patogênicos além dos metais traços ficam estabilizados intrinsecamente no carvão a um nível de segurança aceitável.

O Brasil ocupa uma condição de destaque na matriz energética de biomassa, mas é preciso salientar que de toda a diversidade disponível de biomassas, a lenha, o carvão vegetal e o bagaço de cana-de-açúcar representa quase a totalidade do uso de toda essa matriz energética (BRASIL, 2006 apud VALE et al., 2007 e MME, 2007). Esta constatação demonstra a quantidade de recursos não aproveitados por quase toda a cadeia produtiva, sem contar ainda com a perda ambiental gerado por essa falta gerenciamento de possibilidades a serem exploradas, mas que provavelmente através de programas governamentais, inclusão de informação e tecnologia e extensão universitária, poderiam mudar drasticamente esse cenário para melhor.

Nesta definição de biomassa se enquadra resíduos de custos praticamente nulos, originários das atividades agrícolas (esterco de animais, casca de cereais, resíduos de colheitas mecanizadas de inúmeros tipos de plantas), das atividades florestais, serrarias e setor verde das cidades (casca de árvores, folhas, galhos, restos de poda urbana, desdobro mecânico de serrarias) constituem uma possibilidade energética viável (BALLONI et al., 1980; SANTIAGO & ANDRADE, 2005; VALE et al., 2007), além da utilização de resíduos para a produção de carvão vegetal gerando energia, se mostra satisfatório no âmbito ambiental e agrega valor a atividade já desenvolvidas (LISBOA, 2003).

No contexto energético, a importância ambiental e socioeconômico onde as biomassas provenientes de resíduos urbanos, da madeira, culturas agrícolas, plantas aquáticas, algas, animais, processamento de alimentos, desde que processadas, são de fundamental importância para a sustentabilidade de todo o sistema (GUEDES et al., 2010). Essa observação do potencial de reaproveitamento energético dos resíduos orgânicos deve ser difundido em todas as classes da produção que os geram, fazendo-os perceberem o aporte econômico e ambiental que poderia ser aferido.

Em conformidade com os demais autores (CABALLERO et.al., 1997), os pellets foram submetidos ao processo termoquímico de pirólise (queima com total ou parcial ausência de oxigênio), resultando em pellets de biochar em diferentes diâmetros, Figura 16.



Figura 16 - Pellets de biochar de lodo de esgoto nos diâmetros 3, 5, 7 e 9 mm.

Fonte - PROENÇA, U. C. M.

4 . CONCLUSÃO

Toda a biomassa gerada sendo residual ou não, poderá ser enriquecida através do método da pirólise, e no caso do lodo de esgoto ainda acompanha neste benefício a segurança ambiental necessária. Quanto à produção de biochar em diâmetros específicos, a peletizadora utilizando material in natura ou já tendo sido realizado a pirólise mostrou-se eficiente na confecção dos pellets, apresentando aspectos visuais e físicos satisfatórios. Ao mesmo tempo, o estudo do formato do biochar a ser utilizado, abre-se um novo horizonte de pesquisa, pois partículas de tamanhos diferentes podem apresentar propriedades distintas podendo resultar aumento da produção agrícola, diminuir o uso de insumos e maximizar benefícios já comprovados pelo emprego de biochar na agricultura.

5 . REFERÊNCIAS

- BALDOCK, J.A.; SMERNIK, R.J. Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. *Organic Geochemistry*, v. 33, 2002, p. 1093-1109.
- BALLONI, E. A.; MIGLIORI, A.J. & BRITO, J.O. Produção de energia através de florestas de rápido crescimento. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF*, Circular Técnica n. 103, 1980, 13p.
- BRASIL. Balanço energético nacional de 2005. *Ministério das minas e Energia*. Brasília, 2006, 191 p.

CABALLERO, J.A.; FRONT, R.; MARCILLA, A.; CONESA, J.A. Characterization of sewage sludges by primary and secondary pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 40/41, 1997, p. 433–450.

CHANG, A.C.; HYUN, H.; PAGE, A.L. Cadmium uptake for swiss chard grown on composted sewage sludge treated field plots: plateau or time bomb? *Journal of Environmental Quality*, Stanford, v. 26, 1997, p. 11-19.

ENCARNAÇÃO, F. Redução do impacto ambiental na produção de carvão vegetal e obtenção do ácido pirênico como alternativa para proteção das plantas. *Agroecol.e Desenv. Rur. Sustent.*, v.2, n. 4, 2001, p 20-24.

GALINATTO, S. P.; YODER, JONATHAN, K. J.; GRANATSTEIN, D. The economic value of biochar in crop production and carbon sequestration. *Energy Policy*, 39: 2011, 6344-6350.

GUEDES, C. L. B.; ADÃO, D.C.; QUESSADA, P.T.; BORSATO, D.; GALÃO, O.F.; MAURO, E.D.; PÉREZ, J.M.M.; ROCHA, J. D. Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina. *Química Nova*, São Paulo, v. 33, n. 4, 2010, p. 781-786 LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems: a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Dordrech, v.11, n.2, p. 395-419, 2006.

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

LISBOA, R. J. Caracterização energética da casca de baru (*Dipterys alata Vog.*) para a produção de carvão vegetal e briquete. Universidade de Brasília – UnB, Departamento de Engenharia Florestal – EFL, Trabalho final de Curso, 2003, 37 p.

M. MIERZWA-HERSZTEK, K. GONDEK, M. KOPEC the sulfur content in soil after application of composted materials containing foils *Ecolog. Chem. Eng.*, 23, 1, 2016, pp. 77-87 [http://dx.doi.org/10.2428/ecea.2016.23\(1\)6](http://dx.doi.org/10.2428/ecea.2016.23(1)6).

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balança Energético Nacional. Ano Base 2006. *Empresa de Pesquisa Energética*. Rio de Janeiro. 2007, 192 p.

PROENÇA, U.C.M. *et al.* Desenvolvimento de protótipo de mufla para obtenção de biocarvão através da pirolise v. 8 (2016): Suplemento - Resumos Expandidos do IV Simpósio de Tecnologia Sucroenergética e de Biocombustíveis - Simpósio de Tecnologia Sucroenergética e de Biocombustíveis.

QUINTANA, N.R. Análise econômica da aplicação de biossólido na agricultura. (Dissertação de Mestrado), Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 133, 2006.

SANTIAGO, A.R.; ANDRADE, A. Carbonização de resíduos do processamento mecânico da madeira de eucalipto. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 15, n. 1, p, 1-7, 2005.

SINGH, B.P.; HATTON, B.J.; BALWANT, S.; COWIE, A.L.; KATHURIA, A. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. *Journal of Environmental Quality*, v. 39, p. 1224-1235, 2010.

SOUZA, S.N.M. A; OLIVA, C.A. Potencial de energia primária de resíduos vegetais no Paraná. 4º Encontro de Energia no Meio Rural. Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE/CCET. P, 5, 2002.

VALE, A.T.; GENTIL, L. V.; GONÇALVEZ, 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, n.4, p, 416-420, 2007.

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

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

CAPÍTULO 3 - PROTÓTIPO DE MUFLA PARA QUEIMA EM PIRÓLISE E ADPTAÇÕES EM FORNO ODONTOLÓGICO PARA PRODUÇÃO DE PELLETS DE BIOCHAR DE LODO DE ESGOTO

Resumo: A “Terra Preta de Índio” da Amazônia (TPI), considerado no cenário mundial como sendo um dos solos de maior fertilidade do planeta. A partir de queima de restos de animais e vegetais há a produção de carvão com características próximas a TPI, sendo intitulado biochar. O protótipo da mufla foi desenvolvido com materiais recicláveis disponíveis em depósitos de sucatas. Dentre os materiais empregados estão um cano metálico de formato quadrado com dimensões de 6,5 X 6,5 X 23 cm, o diâmetro de sua parede é 0,3 mm e 0,845 litros capacidade de volume, chapas de ferro de diâmetros variados, aparelho de solda elétrica, furadeira e lixadeira. Os resíduos utilizado foram lodo de esgoto e osso de bovino. Foram atingidas temperatura e queima em pirólise (400°-700° C). Foi empregado termômetro digital a laser para aferir e auxiliar no controle da temperatura. Os aspectos visuais do bioproduto são animadores. Os resíduos foram totalmente pirolisados, incentivando a prosseguir no desenvolvimento de equipamentos mais tecnológicos que irão proporcionar controle de tempo e temperatura ideais para cada matéria prima a ser convertida, contribuindo para o aumento da fertilidade do solo, gestão dos resíduos orgânicos e mitigando assim os impactos ambientais da destinação de resíduos orgânicos.

Palavras-chave: Biocarvão, desenvolvimento de equipamento, resíduo e mitigação ambiental.

CHAPTER 3 - MUFFLE PROTOTYPE FOR BURNING IN PYROLYSIS AND ADDITIONS IN DENTAL OVEN FOR THE PRODUCTION OF SEALING BIOCHAR PELLETS

The "Amazon Black Earth" (TPI), considered on the world stage as one of the most fertile soils on the planet. From the burning of remains of animals and vegetables there is the production of charcoal with characteristics close to TPI, being titled biochar. The prototype of the muffle was developed with recyclable materials available in scrap depots. Among the materials used are a square-shaped metal barrel with dimensions of 6.5 X 6.5 X 23 cm, the diameter of its wall is 0.3 mm and 0.845 liters volume capacity, iron plates of various diameters, apparatus Electric welding, drilling machine and sander. The residues used were sewage sludge and ox bovine. Temperature and firing were achieved in pyrolysis (400ø-700øC). A leisure digital thermometer was used to measure and assist in temperature control. The visual aspects of the bio-product are encouraging. The waste has been completely pyrolyzed, encouraging further development of more technological equipment that will provide optimal time and temperature control for each raw material to be converted, contributing to the increase of soil fertility, management of organic waste and mitigating the impacts Management of organic waste.

Keywords: Biocarvão, development of equipment, waste and environmental mitigation.

1. INTRODUÇÃO

Admirada pela sua grande fertilidade e considerada durante muito tempo um mistério da natureza, a Terra Preta da Amazônia, ou também conhecida como Terra Preta de Índio (TPI) (LEHMANN, et al., 2006), ou mesmo Terra Preta Arqueológica (TPA), vem despertando o interesse dos estudiosos da área de solos. Este solo possui grandes quantidades de material orgânico pirolisado, apontado como responsável por sua fertilidade. Este material é mundialmente chamado de biochar ou biocarvão. O biochar é produzido pelo processo de aquecimento da matéria orgânica, biomassa, na ausência total ou parcial de oxigênio, processo conhecido como pirólise, gerando produto rico em carbono, estável e de alta porosidade. Além disso possui outros subprodutos, que são utilizados para geração de energia, como o bioóleo e gás de Síntese (H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , C_2H_6) (VIEIRA, 2012). Todos os solos possuem naturalmente, em sua constituição, algum teor de carvão orgânico, portanto, é um elemento que se conhece muito bem e que até hoje não foi comprovado qualquer risco para o solo, vegetal ou para quem os consome (WOODS & DENEVAN, 2006).

A biomassa é geralmente composta por celulose, hemicelulose, lignina, gordura, proteínas, açúcares e material mineral (GUEDES et al., 2010). Com o aquecimento da biomassa na ausência ou presença parcial de oxigênio (respectivamente pirólise e gaseificação), ligações químicas são quebradas, levando à formação de compostos orgânicos intermediários não muito voláteis. Esses compostos intermediários sofrem então decomposição termal secundária para formar produtos voláteis (gases e óleo), ou passam por reações de polimerização, resultando em produtos de alto peso molecular, como o carvão. YANG e SHENG(2012), verificaram que é possível discriminar biochars produzidos sob diferentes temperaturas de pirólise, avaliados por espectrofotometria, relatando uma boa precisão na avaliação dos materiais testados, madeira de cedro, pinus e resíduos de algodão. Estes autores identificaram, através da pirólise, que o potencial de produção de energia calorífica dos materiais foram muito próximos, variando de $25,1 \text{ Mjkg}^{-1}$ a $300 \text{ }^\circ\text{C}$ até $29,5 \text{ Mjkg}^{-1}$ a $600 \text{ }^\circ\text{C}$, para os materiais testados. O objetivo deste estudo foi criar um protótipo simples de mufla para pirolise de materiais orgânicos, mas que forneça condições ideais para a produção de biochar.

2 . MATERIAIS E MÉTODOS

A construção da mufla para a conversão de matéria orgânica em carvão orgânico (biochar), contou com materiais adquiridos em ferros velhos, tais como; cano metálico de formato quadrado, chapas de ferro de diâmetros variados e uso de máquinas tais como aparelho de solda elétrica, furadeira e lixadeira além de revestimento especial para alta fundição de uso odontológico. Abaixo, a mufla apresentada na figura 1.



Figura 1: Mufla para a conversão de biomassas e cabo de manejo.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

As dimensões da mufla foram definidas por imposição do tamanho interno do forno, também adquirido em desmanche industrial e em seguida restaurado. O forno elétrico de origem americana (Figura 2), tensão elétrica de 120 volts, amperagem de 18.6 amperes e potência de 2240 watts, com aproximados 40 quilos de massa, depois de recuperado atingiu a marca de 1000°C em 1 hora. Uma coincidência na aquisição deste forno, em um momento que realmente ele era necessário para a continuação dos estudos, pois não contamos com recursos de ajuda para a pesquisa, foi ver que esta máquina quando em uso pertencia para a própria Unesp Jaboticabal, uma dessas coincidências da vida como mostra a foto B. Ficando apenas como irrecuperável o aferimento da temperatura, pois seu termopar e relógio de leitura de temperatura (C°) estavam totalmente destruídos. Para então sanar essa adversidade, foi adquirido um termômetro digital a laser, marca INFRARED THERMOMETER ®.



Figura 2 : Detalhes do forno.

A) Identificação de origem e informações técnicas.

B) Identificação de origem e informações técnicas.

C) Forno desprovido de relógio leitor de temperatura e termopar.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

O tamanho interno do forno, nos orientou quanto a construção do tamanho da mufla, pois além de ser inserida no interior do forno, é necessário ainda um espaço livre entre a parede da mufla e a parede do forno para homogeneizar a distribuição do calor e uniformizar a temperatura, como mostra a figura 3 (D).

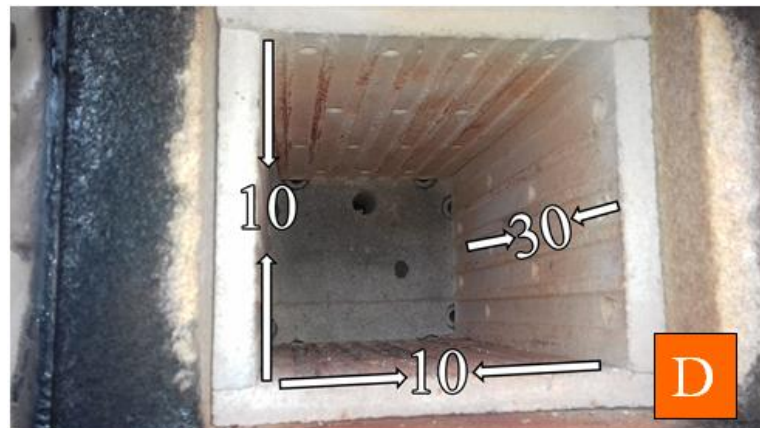


Figura 3: Interior do forno elétrico utilizado no experimento.

D) O interior do forno é constituído de placas refratárias, contendo em seu interior resistências elétricas, um total de 8 resistências, sua dimensão é de 30 X 10 X 10 cm, 3 litros de capacidade total.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

A mufla apesar de parecer bastante simples, possui em sua construção, dados técnicos que devem ser levados em consideração. Primeiramente seu tamanho deve ser proporcional ao espaço interno do forno; seu volume externo é 9 X 9 X 25 cm, cabendo inteiramente no interior do forno e sua área útil, interior da mufla é 6,5 x 6,5 x 22 cm ou 0,930 litros. Sua estrutura é composta de um tubo quadrado de ferro com 7 x 7 x 23 cm com diâmetro de 0,3 mm de espessura, fundo quadrado de ferro 9 X 9 e 0,5 cm de espessura, um calço de 9 X 1 X

0,5 cm, duas alças para auxiliar na retirada do forno e tampa com alças de fixação. Figura 4 e 5.



Figura 4 : Descrição de partes da mufla.

E) Cano metálico com 7 X 7 X 23 cm e diâmetro de 0,3 mm de espessura.

F) Tampa e alças de fixação. A tampa da mufla é descrita a seguir.

G) Calço metálico de 9 X 1 cm e 5 mm, que auxilia na distância que a mufla deve estar em relação ao assoalho do forno.

Fonte : PROENÇA, U. C. M.

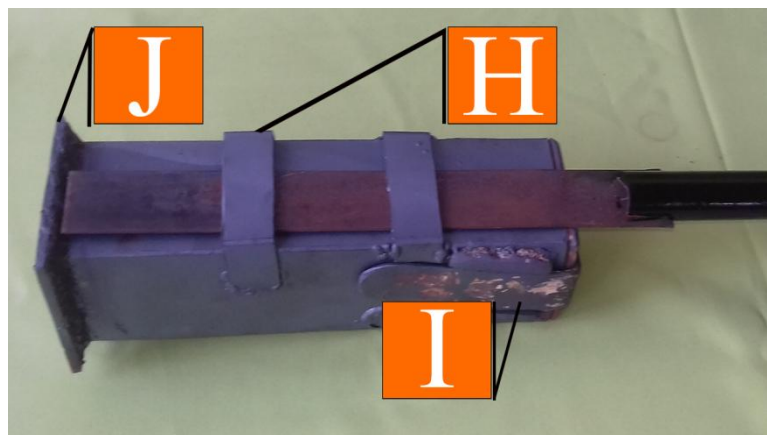


Figura 5 : Descrição de partes da mufla.

H) Alças auxiliares para colocação e retirada da mufla do forno.

I) Tampa e alças de fixação. A tampa da mufla é descrita a seguir.

J) Fundo quadrado de ferro com 9 X 9 cm e 5 mm de diâmetro.

Fonte : PROENÇA, U. C. M.

Para ocorrer vedação do oxigênio presente no ambiente no momento da pirólise, é necessário que tanto a tampa quanto o resto da mufla estejam vedados. No fundo quadrado de ferro (Figura 4) soldado no cano quadrado (E), foi introduzido 5 mm de revestimento para alta fundição Calibra Express ®, utilizado em laboratórios de prótese dentária, vedando completamente uma possível falha na solda. Para a tampa, foi desenvolvido um sistema em ângulo com o revestimento de dois centímetros de espessura (J) que foi posicionado na tampa com auxílio de uma forma de papel. A tampa de metal (k), (Figura 6) possui 7 x 7 cm e 5 mm de diâmetro de espessura, e está fixa ao revestimento por ação de retenções mecânicas feitas

na superfície interior da tampa. A tampa dispõe de duas alças (L), (Figura 6), que auxilia de forma mecânica o fechamento da mufla. O corpo da mufla contém ainda dois encaixes (M) para a melhor fixação das alças e tampa.



Figura 6 : Descrição de partes da mufla.

K) Tampa da mufla, após soldar a alça, confeccionar retenções na tampa para aderência do bloco de revestimento; 7X7X0,5 cm.

L) Alças, no protótipo elas são levemente curvas, mas não há necessidade, devem apenas exercer pressão nas laterais da mufla. Seu tamanho é de 28X3X0,4 cm, soldada na tampa.

M) Guias para auxiliar na fixação das alças da tampa.

N) Revestimento de fundição, confeccionar um bloco para auxiliar na vedação dos gases.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

O cabo auxiliar para colocar e retirar a mufla do forno é composta de uma lâmina de ferro de 30 x 3 x 0,3 cm soldada em um cano 3/4 metálico com 3 mm de espessura. É utilizada a lâmina fina, para haja maior altura disponível para a mufla. (Figura 7).



Figura 7 : Descrição do cabo auxiliar.

O) Lâmina fina, 30x3x0,3 cm.

P) Cano 3/4, 40cm por 3 mm de Ø.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

A queima do material é iniciada no momento de colocação da mufla no forno pré-aquecido, sendo antes estipulada a temperatura através de leituras utilizando o termômetro

digital a laser, INFRARED THERMOMETER ®, sendo 400 °C para queima em pirólise do lodo de esgoto e 700 °C para a pirólise do osso. Para a mistura de biochar de lodo e osso, foi necessário proceder a pirólise do osso primeiramente, moer e adicionar a massa crua do lodo, pois são materiais de diferentes pontos de pirólise. A Figura 8 (Q e R) mostra momento de calibração da temperatura na entrada do forno.



Figura 8 (Q e R): Aferimento de preparação de pirólise.

Q) Preparação da temperatura do forno para a queima a 400° C, queima do lodo de esgoto. Atingido os 400°C, desliga-se o forno e ele manterá a temperatura por 30 minutos.

R) De mesma forma como a preparação do lodo, o osso bovino deve ser pirolisado a 700°C; em ambos os casos aferir a temperatura e se necessário ligue ou desligue o forno novamente.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

Um fato bastante interessante é constatar que quando o forno é aberto em menos de 30 minutos, por ainda conter gases sendo produzidos pela queima do material, ocorre um princípio de incêndio ao redor da mufla, pois com a abertura do forno o oxigênio do ambiente é adicionado à mistura gases e temperatura. Para encerrar as chamas, basta fechar a porta e esperar o tempo correto, que no caso foi calculado em 30 minutos. Nas figuras a seguir (S, T e U) tem-se uma demonstração da sequência destes fatos. (Figura 9).



Figura 9 : Saída de gases inflamáveis, entrada de oxigênio e chamas.

S) Pela entrada das resistências elétricas no forno, os gases se dispersam no ambiente.

T) Combustão imediata provocada pela abertura da porta do forno, ocorrido pela entrada de oxigênio.

U) Com a porta do forno aberta é possível observar a queima dos gases ao redor da mufla.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

3 . RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi possível verificar que através de um modelo simples de uma mufla é possível á conversão de materiais orgânicos, tal qual lodo de esgoto e osso bovino. Foi possível



monitorar a temperatura utilizando um dispositivo externo a laser. Os resultados visuais do bioproduto formado são animadores, em relação aos resultados verificados por Yang e Sheng (2012) e Proença (2016) em relação às temperaturas de pirólise, as quais são dependentes das características dos materiais a serem pirolisados. A Figura 10, mostra o momento da abertura da mufla .

Figura 10 : Abertura, esvaziamento da mufla.

U) Abertura da mufla, todo material convertido termoquimicamente em biochar.

W) Início do esvaziamento da mufla, o material está em aproximadamente a 65°C.

X) Pellets de biochar de 7mm elaborados.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

Na figura abaixo (Y), pellets de biochar nos diâmetros 3, 5, 7 e 9 mm se encontram produzidos e embalados. Figura 11.



Figura 11 : Biochar de lodo de esgoto nos diâmetros 3,5,7 e 9 mm ensacados.

Y) Biochar de lodo de esgoto embalados, nos diâmetros de 3, 5, 7 e 9 mm.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

A pirólise é dividida entre dois grupos principais, de acordo com a taxa de reação: Pirólise lenta e pirólise rápida. Quando o foco é produzir gases ou líquidos, é empregado a

pirólise rápida, utilizando taxas de aquecimento extremamente altas. A pirólise lenta, o foco seria a formação de carvão. A quantidade de gases aumenta quando a temperatura aumenta, enquanto as outras frações diminuem.

O aproveitamento energético de resíduos agrícolas ou as conhecidas biomassas, teve sua maior implementação a partir da crise do petróleo de 1973 por todo o mundo (SÁNCHEZ, 1994).

Segundo *Statistical Review of World Energy*, a quantidade estimada de biomassa no mundo seria na ordem de 1,8 trilhões de toneladas, onde o Brasil se destaca com dados de 2007 com a utilização de biomassas na geração de energia com 31,1% da matriz energética, superado apenas por petróleo e seus derivados (ANEEL, 2009). A matriz energética brasileira através da biomassa, poderia ser muito maior se fosse considerado o lodo de esgoto como material a ser utilizado, produzido pelas cidades e indústrias, os descartes da produção agrícola e agropecuária, e materiais da indústria de transformação como por exemplo os frigoríficos e o setor moveleiros.

Segundo Bridgwater (2003), entre as muitas formas de se produzir energia utilizando biomassa, a pirólise se destaca na conversão da biomassa em um subproduto rico em carvão orgânico, o biochar, que além da possibilidade que depende da tecnologia empregada pode produzir bio-óleo e variados gases combustíveis. A produção de equipamentos compactos e de preços acessíveis, pode fornecer uma economia e até mesmo uma forma alternativa de renda para pequenos produtores, pois poderiam gerar parte ou total da energia necessária em suas propriedades e ainda destinar seus resíduos de maneira ecologicamente correta.

Lehmann (2007), define como temperatura ótima de pirólise, as temperaturas entre 450 a 550 °C para a produção de biochar, sendo que a biomassa nestas condições de temperatura por decomposição térmica de seus precursores orgânicos por processo exotérmico, liberando grandes quantidades de componentes voláteis e calor, originando uma matriz carbonosa, com estrutura porosa rudimentar (CZERNIK & BRIDGWATER, 2004). Há ainda substâncias que necessitam de energia térmica com temperaturas muito superiores a que Lehmann (2007), como por exemplo, o osso bovino, o qual para ser pirolizado em 30 minutos, deve ser exposto a uma temperatura de 700 °C, liberando com essa temperatura e tempo controlados, boa quantidades de gases combustíveis e bio-óleo, além do carvão orgânico rico em Ca e Mg.

É compreendido como método de pirolise a carbonização, a pirólise rápida e a pirólise flash, onde a carbonização seria um tipo de pirólise lenta ou convencional, enquanto a pirólise rápida um processo mais avançado de pirólise e por último a pirolise flash é considerada um processo de gaseificação (CORTEZ et al, 2008). É importante ser relatado, que o mesmo

material a ser processado pelas pirólises lenta, rápida e flash, e geram produtos semelhantes porém diferentes, onde os elementos do material se modificam de forma bastante distinto.

Para se obter grandes quantidades de líquidos (bio-óleo) advindo de biomassas, a pirólise rápida é o método mais indicado (SAMANIEGO, 2007). Diferentemente do método de carbonização, a pirólise rápida produz menos carvão vegetal, favorecendo a produção de bio-óleo e gases combustíveis (GÓMES, 2002). Logicamente, é necessário usar matérias orgânicas mais convenientes, quando o foco é a geração de bio-óleo, destacando-se o eucalipto cheiroso (*Corymbia citriodora*) e o osso de animais.

Brigwater e Peacocke (1995) sustentam que o bio-óleo seria compatível ao óleo diesel, com referências às características físicas e energéticas, sendo que a densidade energética do bio-óleo está em torno de 28 GJ/m^3 , o que representa cerca da metade da densidade energética do óleo diesel. Essa compatibilidade entre o diesel de origem fóssil e o bio-óleo mostra claramente como seria conveniente se a tecnologia de transformação das biomassas fossem popularizadas, tendo em vista a grande dependência de uso do combustível óleo diesel na produção agrícola onde seu elevado preço, diminui a margem de renda do produtor e pode inviabilizar a produção.

A pirólise rápida é muito semelhante nas características ao processo de gaseificação, pois a biomassa a ser queimada em temperaturas superiores à 650°C apresenta no processo elevados rendimentos de gases combustíveis (ZANZI et al., 1998). Segundo Mesa et al (2003), as características e o rendimento dos líquidos condensados variam com as características individuais de cada tipo de biomassa.

Entende-se por gaseificação a degradação térmica da biomassa com quantidades de oxigênio inferiores ao valor estequiométrico (é o cálculo que permite relacionar quantidades de reagentes e produtos), gerando no final do processo combustíveis gasosos (hidrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono, vapor de água, metano e hidrocarbonetos mais pesados) (HENRIQUES, 2012). Como observado por Henriques (2012), há portanto, a conversão através de pirólise utilizando a tecnologia disponível, uma grande possibilidade de geração de energia e ao mesmo tempo em que se destina de maneira mais ecologicamente segura os diversos tipos de resíduos, minimizando assim os danos ambientais gerados pela próprias necessidades da existência humana.

Klass (1998), descreve sobre a decomposição térmica da biomassa (pirólise), é a decomposição direta dos componentes orgânicos em ausência total ou parcial de oxigênio, com a capacidade de gerar produtos úteis, mais derivados líquidos e sólidos e gases combustíveis.

Bridgwater et al. (2008), descreve a pirólise como sendo um processo físico-químico, onde resíduos orgânicos aquecidos a temperaturas relativamente baixas (500°C a 800°C), em atmosfera não-oxidante, dá origem a um resíduo sólido, rico em carbono (carvão) e uma fração volátil, composta de gases e vapores orgânicos condensáveis (licor pirolenhoso). Esses novos resíduos se dividem quantitativamente, segundo o método de pirólise empregado e principalmente das características do material a ser tratado. Podemos ainda acrescentar que a quantidade de tempo em que o material é deixado exposto a tais temperaturas, influi intimamente em resultado seu resultado físico químico.

Segundo Rocha et al.,(2004), a pirólise é um processo de conversão térmica que rompe ligações carbono-carbono, e implica também da não formação de ligações carbono-oxigênio. Sendo um processo de oxi-redução, na qual uma fração da biomassa é reduzida a carbono, e outra parte é oxidada e hidrolisada formando fenóis, carboidratos, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos. São produtos primários que se combinam formado moléculas mais complexas, tais como ésteres, produtos poliméricos etc. Nesta realidade de não formação de ligações carbono-oxigênio, através do processo de oxi-redução, a pirólise também pode ser considerado como um grande colaborador para a não formação de Co_2 e, além disso, o carvão produzido através da pirólise uma vez adicionado ao solo, funcionará como um potente sumidouro de Co_2 colaborando na mitigação do aquecimento global.

4. Conclusão

Os aspectos visuais do bioproduto são animadores. A produção de uma máquina simples e de baixo custo para a conversão de biomassas é totalmente possível, pois o resíduo lodo de esgoto e osso bovino foram totalmente pirolisados, nos incentivando a prosseguir no desenvolvimento de equipamentos com maior capacidade de volume de matéria prima a ser processada. O aporte tecnológico no controle de tempo e temperatura ideais pode propiciar mais informações da matéria prima a ser convertida em biochar, a qual poderá contribuir para o aumento da fertilidade do solo, gestão dos resíduos orgânicos, mitigando assim os impactos ambientais.

5 . REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Atlas de energia elétrica no Brasil. 3. ed. Brasília, DF, 2009. 199 p.

BRIDGWATER, A. V. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. *Chemical Engineering Journal*, Oxford, v. 91, p. 87-102, 2003.

BRIDGWATER, A. V., PEACOCKE, C. Biomass Fast Pyrolysis. Presented at: Second Biomass Conference of the Americas, Portland, USA, august, p. 1037-1047, 1995.

BRIDGWATER, C; CSERNIK, S.; DIEBOLD, D. *Fast Pyrolysis of Biomass: a handbook*. Aston University, Bio-Energy Research Group, UK, 2008.188p.

CORTEZ, L.A.B., LORA, E.E.S., GÓMEZ, E.O. *Biomassa para energia*. Editora UNICAMP. CAMPINAS-SP, 2008.

CZERNIK, S.; BRIDGWATER, A. V. Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil. *Energy and Fuels*, New Jersey, v. 18, p. 590-98, 2004.

GÓMES, E, O. Estudo da pirólise rápida de capim elefante em leito fluidizado borbulhante mediante caracterização dos finos de carvão. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 2002.

GUEDES, C. L. B. *et al.* Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina. *Química Nova*, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 781-786, 2010.

HENRIQUES, A. J. A. Produção de Combustíveis Líquidos por Pirólise de Misturas de Resíduos Plásticos e Óleos Vegetais. 2012. Dissertação (Mestrado em Energia e Bioenergia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2012.

Klass, D. L. *Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals*, Academic Press; 1st edition, 651 p, 1998.

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

MESA, J.M.; ROCHA, J.D.; OLIVARES, E.; BARBOZA, L.A.; BROSSARD, L.E.; BROSSARD JUNIOR, L.E. Pirolise Rápida em leito fluidizado: uma opção para transformar biomassa em energia limpa. *Revista Analytica* n°04, (2003).

PROENÇA, U.C.M. *et al.* Desenvolvimento de protótipo de mufla para obtenção de biocarvão através da pirolise: Suplemento - Resumos Expandidos do IV Simpósio de Tecnologia Sucroenergética e de Biocombustíveis - Simpósio de Tecnologia Sucroenergética e de Biocombustíveis. v.8 (2016).

ROCHA, J.D; PEREZ, J. M.; CORTEZ, LAB. Aspectos teóricos e práticos do processo de Pirólise de biomassa. Curso "Energia na Indústria de Açúcar e Alcool" UNIFEI, Itajubá, Unicamp-SP Faculdade de Engenharia Agrícola. 12-16 de julho de 2004.

SAMANIEGO, M. R. P. Uso de biocombustível da pirólise rápida da palha de cana em um motor de ciclo Otto. Universidade Estadual de Campinas. Dissertação de Mestrado. Campinas, 2007.

SÁNCHEZ, C. G. Estudo da volatilização e da gaseificação de biomassa em leito fluidizado. 1994. 143p. Tese (Doutorado em Engenharia mecânica)-Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, Campinas, 1994.

YANG, H.; SHENG, K. Characterization of biochar properties affected by different pyrolysis temperatures using visible-near-infrared spectroscopy. International Scholarly Research Network, ISRN Spectroscopy, Volume 2012,7 p. doi:10.5402/2012/712837.

ZANZI, R.; SJOSTROM, K.; BJORNBOOM, M. Rapid Pyrolysis of Agricultural Residues. Proceedings of the International Conference "Biomass for Energy and Industry", 10th European Conference and Technology Exhibition, Wurzburg, Germany, pp. 1581- 1584, June 1998.

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

RESUMO: O sorgo granífero é uma gramínea que vem despertando interesse no setor sucroenergético. O objetivo deste estudo foi verificar o desempenho do cultivar Sorgo BRS 330 cultivado em casa de vegetação, em 36 vasos de 10 quilos com terra Latossolo Vermelho distrófico (LVd), utilizando aporte nutricional de NPK e micronutrientes em quantidades usuais, consorciados com pellets de biochar (50 gramas por vaso), em diferentes diâmetros com a finalidade de verificar se o formato físico do pellet de biochar influi nos resultados da produção agrícola. Para enriquecimento de nosso trabalho, utilizamos biochar de lodo de esgoto e biochar de lodo de esgoto consorciado com osso bovino na proporção de 50% cada. O uso do resíduo lodo de esgoto como matéria prima para se produzir biochar se deve ao lodo de esgoto ser uma matéria orgânica rica em elementos produzido em grandes quantidades pelas cidades e indústrias em decorrência do tratamento da água e existe uma real necessidade de se encontrar uma utilização segura de sua aplicação no solo, pois o lodo de esgoto contém vermes e bactérias nocivas ao homem e a natureza além de metais traço, os quais, ao serem submetidos à pirólise a partir de 400°C, esses aspectos são sanados, os vermes e bactérias são eliminados e os metais são contidos na natureza intrínseca da estrutura do biocarvão por tempo ainda indeterminado, enquanto ao uso da matéria prima osso bovino por estar presente em sua composição mineral quantidades expressivas de fósforo, sódio e magnésio, podendo ser agregado aos pellets. O diâmetro dos pellets de biochar utilizados foram 3, 5,7 e 9 mm de diâmetro. Para se iniciar o experimento, foi necessário fabricar equipamentos para a elaboração dos pellets e casa de vegetação. Todos os tratamentos contendo pellets de biochar tiveram bons resultados na produção de sementes, superiores ao da testemunha, destacando-se os vasos contendo tratamento com biochar de lodo de esgoto com 7 mm de diâmetro onde sua produção de sementes foi de aproximadamente 35% a mais em relação a produção obtido pela testemunha.

Palavras-chave: Lodo de esgoto processado termicamente, biocarvão, osso bovino e sorgo BRS 330 .

CHAPTER 4 - EVALUATION OF THE VIGOR OF CULTIVAR SORGO BRS 330, SUBMITTED TO THE APPLICATION OF DIFFERENT DIAMETERS OF BIOCHAR PELLETS.

ABSTRACT: Grain sorghum is a grass that has been arousing interest in the sugar-energy sector. The objective of this study was to verify the Performance cultivar Sorgho BRS 330 cultivated in a greenhouse in 36 10 - kg pots with Latosol (LVd), using NPK and micronutrients nutritional support in usual amounts, consorted with biochar pellets (50 grams per pot) in different diameters in order to verify if the physical shape of the biochar pellet influences the results of agricultural production. To enrich our work, we used biochar of sewage sludge and biochar of sewage sludge consorted with bovine bone in the proportion of 50% each. The use of sewage sludge as raw material to produce biochar is due to sewage sludge being an elemental organic matter produced in large quantities by cities and industries in the course of water treatment and there is a real need to find a Safe use of its application in the soil, since the sewage sludge contains worms and bacteria harmful to man and nature in addition to trace metals, which, when subjected to pyrolysis from 400 ° C, these aspects are remedied, worms And bacteria are eliminated and the metals are contained in the intrinsic nature of the structure of the biochar for a time still undetermined, while to the use of the bovine bone raw material because its expressive quantities of phosphorus, sodium and magnesium are present in its mineral composition, being able to be added to the pellets . The diameter of the biochar pellets used were 3, 5.7 and 9 mm in diameter. In order to start the experiment, it was necessary to manufacture equipment for the preparation of the pellets and greenhouse. All treatments containing biochar pellets had good results in seed production, higher than that of the control, standing out the pots containing biochar treatment of sewage sludge with 7 mm diameter where its seed production was approximately 35% higher In relation to the production obtained by the control.

Key words: Thermally processed sewage sludge, bio-coal, bovine bone and sorghum BRS 330.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável da economia mundial desafia a sociedade a utilizar métodos que direcionem a preservação dos recursos naturais. A utilização de biomassa, presentes em grandes quantidades em nosso país e no mundo, se fundamenta como alternativa econômica e ambiental. O Brasil se destaca mundialmente em capacidade de geração de biomassa como matriz energética, mas é importante salientar que praticamente toda a energia de biomassa produzida e utilizada é de origem do uso da lenha, do carvão vegetal e do bagaço de cana-de-açúcar (BRASIL, 2006 apud VALE et al., 2007 e MME, 2007).

A Diretiva 2001/77/EC de 27 de setembro de 2001, define biomassa como “a fração biodegradável de produtos de resíduos da agricultura (incluindo substâncias animais e vegetais), da floresta e das indústrias conexas, bem como a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos” (ADENE/INETI, 2001). Há tecnologia de conversão termoquímica transforma essa biomassa em três possíveis produtos: bio-óleo, gases combustíveis e biochar (VIEIRA, 2012). Biochar é a designação internacional para o biocavão, sendo o termo criado recentemente, o qual define um produto rico em carbono, obtido quando a biomassa é aquecida em compartimento fechado, com pouco ou nenhum suprimento de oxigênio (O₂), e em temperaturas que variam de 300°C a 800°C (LEHMANN & STEPHEN, 2009; VERHEIJEN, 2010). A utilização na agricultura deste material pirolisado, e de outras fontes de materiais orgânicos, incluindo vários resíduos de difícil descarte, vem sendo uma alternativa bastante sugerida, pois o produto gerado é conhecido por biochar, o qual agrega ao solo e ao ambiente inúmeros benefícios, gerando interesse do seu estudo em vários campos científicos. A pirólise também é considerada a degradação térmica de materiais orgânicos, na ausência parcial ou total de um agente oxidante, ou mesmo um ambiente com uma concentração de oxigênio capaz de impedir a gaseificação intensiva do material orgânico (PEDROZA et al., 2010, 2011).

A diversidade de biomassas existentes, gera uma diversidade de biochars. A matéria prima a ser utilizada é o reflexo do biochar a ser produzido. A condição de tempo de queima e temperatura empregada na elaboração biochar, também resulta em materiais de diferentes composições mesmo sendo feito da mesma matéria prima (BALDOCK; SMERNIK, 2002). Pode-se então produzir biochar específicos para diferentes culturas, agregando qualidades específicas inerentes de cada matéria prima. De modo geral, a adição de biochar ao solo é sempre benéfico, pois os nutrientes existentes no solo, que por uma condição inerente ao tipo do solo se encontra indisponível a planta, como por exemplo o desequilíbrio de concentrações que torna os nutrientes passíveis de interação, combinação e outros fenômenos, o que resulta a não estarem prontamente disponíveis, e assim se tornam com o auxílio do biocavão, pois ele atua no equilíbrio destas interações e disponibiliza nutrientes retidos para a solução do solo, atuando no complexo de trocas, tal qual como um colóide retendo-se nos micros e mesoporos de superfície (GLASER et al., 2001).

A associação de biochar a adubos orgânicos ou minerais é extremamente benéfica para as culturas, pois o biochar retém os nutrientes nas ligações dos grupos carboxílicos e fenólicos carregados negativamente, diminuindo a lixiviação e aumentando a eficiência dos adubos (LIMA et al. ., 2013).

O biochar é considerado um condicionador de solo, segundo Lehmann et al. (2003) e a biomassa carbonizada (carvão vegetal) apresenta características físico-químicas que atuam como condicionador de substrato, sendo uma alternativa para a melhoria dos substratos utilizados na produção de mudas, favorecendo o fornecimento adequado de nutrientes e aeração. No mercado atualmente existem um variado leque de substratos para mudas, mas poucos são específicos para uma determinada espécie, sendo então necessário a utilização de condicionadores de substratos (LAVIOLA et al., 2006). Segundo Marchi (2006), os condicionadores são em sua maioria constituídos de ácidos húmicos e fúlvicos, em concentrações variadas, disponibilizando nutrientes, tais como cálcio, potássio, fósforo, nitrogênio e micronutrientes. A combinação de biochar com substratos leva a melhoria das propriedades físico-químicas, os quais tem sido comprovado em vários trabalhos (GOMES et al., 2003; ZANETTI et al., 2003; MENDONÇA et al., 2003; ARRUDA et al., 2007).

O lodo de esgoto (LE) também pode ser utilizado para a produção de biochar, pois possui em sua composição a presença de macro e micronutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, proporcionando a melhoria das propriedades físicas-químicas e biológicas do solo (CEZAR et al., 2012), com potencial de substituir em parte a adubação mineral, fornecendo um aporte de nutrientes ao desenvolvimento das plantas, levando a uma maior rentabilidade e economia no uso de insumos mais onerosos (QUITANA, 2006). Segundo Uchimyia et al (2011), utilizando biochar em suas pesquisas, os benefícios apresentados na incorporação do biocarvão no solo, apresentou um processo de potencial retentor de metais pesados em solos contaminados, entretanto, essa capacidade do biocarvão depende da matéria prima utilizada e da temperatura de pirólise utilizado no processo de produção do biochar.

Todavia, o uso de biochar é comprovado em muitos estudos como sendo um produto capaz de gerar benefícios ambientais, entre os quais está evidenciado a redução da perda de nutrientes por lixiviação e ainda o aporte nutricional e calagem para o solo. Segundo Petter (2010), a interação solo e biochar garante uma resposta fisiológica positiva das plantas, fato esse justificado pelo aumento dos teores disponíveis de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e carbono (C) além do aumento da eficiência dos nutrientes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área rural da cidade de Taquaritinga SP, na latitude 21° 24' 22" S, longitude 48° 30' 17" W e altitude de 565 m. O clima no local foi classificado como CWA tropical (Köppen), com verão chuvoso e inverno seco e uma temperatura média de 22,2 °C. O experimento foi implantado em casa de vegetação

construída especificamente para o ensaio, tendo sido adaptado uma gaiola boiadeira, madeiras diversas, canos de irrigação metálicos além de filmes plásticos e sombrites. As dimensões da casa de vegetação são 2 x 4 metros possuindo um pé direito de 2,50 metros tendo como objetivo avaliar a utilização de biochar de lodo de esgoto e biochar de lodo de esgoto consorciado com biochar de osso bovino, em diferentes formatos de granulometrias no cultivo da cultura de sorgo BRS 330, no período de Janeiro á março de 2016 (Figura 1).



Figura 1: Visualização externa e interna da casa de vegetação.

- A) Vista lateral da casa de vegetação.
- B) Vista frontal da casa de vegetação.
- C) Vista interna da porta da casa de vegetação.
- D) Vista da casa de vegetação fechada.

Fonte : PROENÇA, U. C. M.

Foram utilizados 4 vigas de madeira nas dimensões de 4,5 x 0,16 x 0,6 metros que transfixavam a casa de vegetação na altura de 1 metro acima do solo, formando uma bancada á direita e á esquerda sustentando 36 vasos com capacidade de volumétrica de 10 dm³ de solo cada, um tambor plástico de 100 litros para água do experimento e uma balança digital para realizar pesagens e reposição da perda de água. O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho distrófico (LVd), (EMBAPA, 2016), pertencente á uma área experimental da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da UNESP, Câmpus de Jaboticabal – SP, (21°15'22" S e 48°15'18" W, altitude 618m), cujo clima é Aw segundo classificação de Köppen (VOLPE, 2008).

Foi utilizado água deionizada para a rega da cultura, sendo disponibilizada pelo laboratório de tecnologia da UNESP, Câmpus de Jaboticabal – SP. Foi mantida no interior da casa de vegetação, funcionando como um “termômetro” natural, duas mini roseiras que auxiliaram, através de sua observação, o comportamento climático do interior da casa de vegetação (Figura 2).



Figura 2: Visualização dos itens internos da casa de vegetação.
E) Distribuição dos vasos do experimento e as duas mini roseiras.
Fonte : PROENÇA, U. C. M.

O ensaio foi realizado utilizando-se delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4, com 4 repetições, utilizando o híbrido de sorgo granífero BRS 330, onde o primeiro fator recebeu um aporte de 50 gramas de biochar de lodo de esgoto, nos diâmetros 3,5,7 e 9 mm, em 4 repetições, totalizando 16 vasos e o segundo fator recebeu um aporte de 50 gramas de biochar, sendo mescla entre biochar de lodo de esgoto e biochar de osso bovino em partes iguais, nos diâmetros 3,5,7 e 9 mm, em 4 repetições, totalizando 16 vasos além de mais 4 vasos que serviram como testemunha (Tabela 1)

Tabela 1: Tabela esquemática de distribuição dos vasos com seus tratamentos, onde a letra “L” representa char de lodo de esgoto e a Letra “O” representa char de lodo mais o char de osso (50% cada) em seus determinados diâmetros.

20 3o	29 9o	26 7o	4 3L	17 3o	44 T4	7 5L	32 9o	23 5o
41 T1	13 9L	24 5o	16 9L	27 7o	19 3o	1 3L	15 9L	10 7L
TESTEMUNHA	CHAR L + O 3							
CHAR L 3	CHAR L + O 5							
CHAR L 5	CHAR L + O 7							
CHAR L 7	CHAR L + O 9							
CHAR L 9								
18 3o	9 7L	25 7o	5 5L	22 5o	12 7L	14 9L	31 9o	8 5L
43 T3	3 3L	21 5o	11 7L	30 9o	6 5L	42 T2	28 7o	2 3L

Fonte : PROENÇA, U. C. M.

Todos os vasos receberam doses usuais de NPK e micronutrientes em quantidades usuais no momento do plantio das mudas e complemento aos 20 e 40 dias. A adição de biochar ocorreu no momento da enchimento dos vasos, colocando o biochar espalhado a 10 cm de profundidade a partir da borda superior do vaso, sendo coberto posteriormente por uma camada de solo de 2 cm , foi adicionado o adubo mineral e completado com a colocação total de solo (Figura 3).



Figura 3: Sequência de montagem do vaso com biochar e nutrientes.

F)Aplicação de 50 gramas de pellets de biochar de LE com 9 mm de diâmetro.

G)Adição de camada de 2 cm de terra sobre os pellets de biochar.

H)Aplicação de NPK .

I)Termino da montagem do vaso com adição de terra até a borda do vaso.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

A adubação química foi manipulada, onde utilizou-se 11,11 g/vaso de SA, 38,17 g/vaso de SS e 4,16 g/vaso KCL, divididos entre a semeadura, cobertura aos 20 dias e cobertura aos 40 dias.

Tabela 2: As análises químicas do lodo de esgoto, do biochar de lodo de esgoto, do osso bovino in natura e do biochar de osso bovino, seguem o manual de métodos analíticos oficiais (SDA/MAPA IN N°3) para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos, 26 de janeiro de 2015. Brasília, DF.

*Resultados obtidos em base seca.

	LE	B. LE	O	B.O
ph	6,31	7,8	6,78	6,62
M. orgânica	41,36	28,82	36,93	13,42
C. orgânico	23,999	16,722	21,428	7,786
Nitrogênio	1,615	0,703	3,933	0,559
Fósforo	2,750	1,466	10,852	6,475
Potássio	0,356	0,180	0,465	0,242
Cálcio	3,329	1,512	9,802	8,020
Magnésio	0,650	0,560	2,802	1,969
Enxofre	1,417	0,853	0,766	0,417
Boro	0,008	0,001	0,007	0,001
Cobre	0,409	0,246	0,764	0,412
Ferro	0,398	0,156	0,956	0,563
Manganês	0,001	0,001	0,099	0,005
Zinco	0,179	0,018	0,432	0,198

Fonte : Athenas consultoria agrícola e laboratório LTDA (2017).

As mudas foram formadas em canteiro com pH corrigido para aproximados 6,5, utilizado Latossolo Vermelho distrófico (LVd), realizado adubação com : 0,96 g H₃BO₃, 1,97 g CuSO₄.5H₂O, 7,33 g ZnSO₄, 3,08 g MnSO₄.4H₂O, 0,09 g NaMoO₄.2H₂O, 24,98 g FeSO₄, 33,20 g EDTA, 80 ml NaOH 1 mol/L. O percentual de germinação foi de aproximados 75 %. As regas das mudas foram realizadas no período da manhã e no período da tarde durante todos os dias (Figura 4) .



Figura 4: Canteiro de mudas de sorgo granífero .

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

Foram plantadas 3 mudas da planta sorgo BRS 330 por vaso e aos 20 dias de plantio, realizou-se desbaste deixando apenas uma planta (Figura 5).



Figura 5: Vasos contendo 3 mudas de sorgo BRS 330 aos 15 dias.
Fonte: PROENÇA, U. C. M.

3 . RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi constatado através da leitura dos dados colhidos, comprimento das raízes (CR) e produção de sementes que todos os tratamentos tiveram resultados melhores que os da testemunha, onde se destacou significativamente o biochar de lodo de esgoto com dimensão de 7mm de diâmetro, que produziu 35,16 % a mais na média.

Para uma análise dos dados obtidos pelo experimento, foi dada relevância aos princípios básicos da experimentação, que são a repetição, casualização e o controle do local, submetendo os dados a uma análise de variância utilizando o programa SISVAR.

Tabela 3: Análise de variância dos parâmetros morfométricos do sorgo granífero BRS 330 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), com uso de diferentes diâmetros de pellets de biochar.

Fonte de variação	GL	Comprimento da raiz (CR)		Peso da semente (PS)	
		FC	Pr>FC	FC	Pr>FC
		8.829	0.000*	1.941	0.1000*
Tratamento	8				
Repetição	3				
Erro	24	M	87.10	36.60	
Total	35	EP	3,12	2,434	
CV(%)			7.16	13.30	

NS: Teste não significativo a 10 % de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($P > 0,10$);
 *Teste significativo a 10% pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,10$); CV: Coeficiente de variação;
 M: média; EP: erro padrão da média; CR: comprimento da raiz e PS: peso de semente.

Os resultados experimentais nos permitem concluir que houve efeito significativo, ($P < 0,10$), positivo em praticamente nos itens observados e principalmente na produção de sementes devido a aplicação de variados diâmetros dos pellets de biochar na cultura do sorgo BRS 330 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

Tabela 4: Quadro de medias dos parâmetros morfométricos do sorgo granífero BRS 330 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), com uso de diferentes diâmetros de pellets de biochar.

Parâmetros morfométricos	A	B	C	D	E	F	G	H	I
CR	72,50 c	90,75 b	95,50 a	87,25 b	89,25 b	76,00 c	102,50 a	88,00 b	82,20 c
PS	32,00 a	36,65 a	39,00 a	43,25 a	33,25 a	36,25 a	34,00 a	36,75 a	38,25 a

*Médias diferentes na mesma linha indica que o teste é significativo a 10% pelo teste de Scott Knott ($P < 0,10$); “A” representa o tratamento testemunha, sem uso de biochar; “B” com uso de biochar de LE no “Ø”3 mm; “C” com uso de biochar de LE no “Ø”5 mm; “D” com uso de biochar de LE no “Ø”7 mm; “E” com uso de biochar de LE no “Ø”9 mm; “F” com uso da mistura de biochar de LE e Osso no “Ø”3 mm; “G” com uso da mistura de biochar de LE e Osso no “Ø”5 mm; “H” com uso da mistura de biochar de LE e Osso no “Ø”7 mm; “I” com uso da mistura de biochar de LE e Osso no “Ø”9 mm.

O teste de média, para o parâmetro PS, os tratamentos “A,B,C,D,E,F,G,H e I” são semelhantes entre si para o peso em gramas em sementes, se destacando dos demais o tratamento “D” produzindo 35,16% a mais que “A” controle, pelo teste Scott-Knott ao nível de 10% de probabilidade.

O teste de média, para o parâmetro CR, os tratamentos “G e C” semelhantes entre si, foram estatisticamente superiores no comprimento das raízes, se destacando dos demais, seguidos das médias dos tratamentos “B,E,H e D”, os quais foram semelhantes entre si, e por último os tratamentos “I,F e A” semelhantes entre si e que apresentaram menores médias, pelo teste Scott-Knott ao nível de 10% de probabilidade.

O uso de biochar propicia um crescimento significativo nas raízes, mas de forma variada segundo o diâmetro do biochar utilizado: o gráfico abaixo representa a média do comprimento de todos os tratamentos. Gráfico 1.

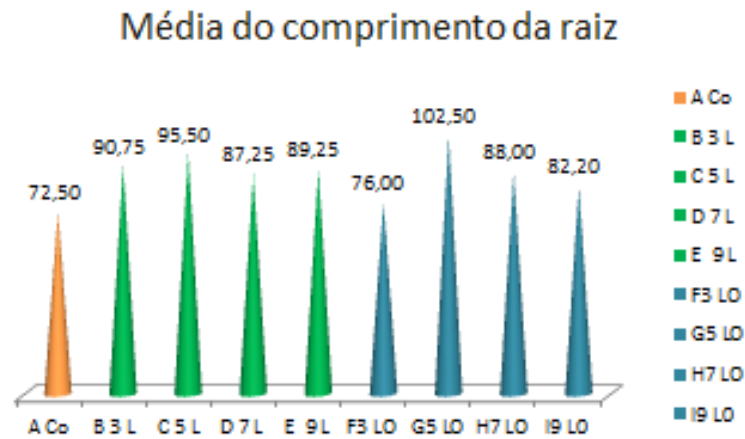


Gráfico 1: Média dos comprimentos em centímetros das raízes por tratamento.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

A utilização de biochar de uma forma geral representa um aporte na produção de grãos, entretanto o uso de biochar de 7 mm de diâmetro alcançou resultado expressivo. O híbrido simples de sorgo granífero BRS 330 apresenta características favoráveis de porte, ciclo e potencial de produção. É resistente a varias doenças como Antracnose, Helmintosporiose, Míldio, ferrugem e Cercospora, e além de ser tolerante ao alumínio tóxico. Sua produção a campo fica em torno de 5,0 a 6,0 t/há, com 200.000 plantas, onde produzem por média 25 á 30 gramas de sementes por planta. O gráfico 2 salienta o desempenho das plantas com o uso de pellets de biochar em diferentes tamanhos:

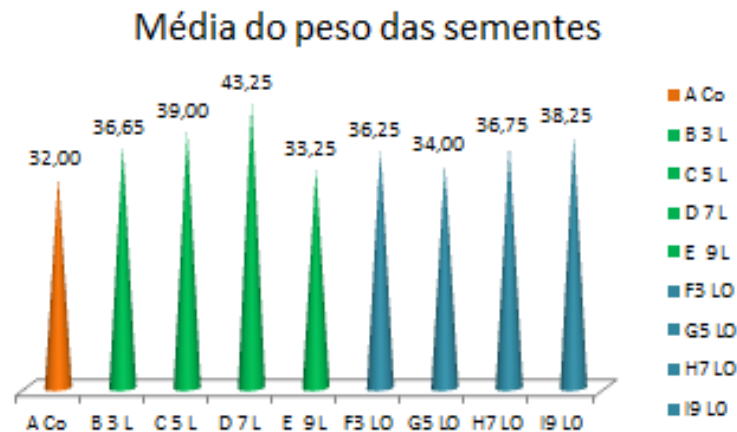


Gráfico 2: Média do peso das sementes em gramas por tratamento.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

No gráfico percentual, podemos observar com mais clareza a variação de resultados na produção de sementes de sorgo, uma vez que se variaram apenas os diâmetros e misturas, mas nunca a quantidade em peso de biochar. Como todos os tratamentos produziram com

percentual superior ao controle, a percentagem começa a partir da média do controle da produção de sementes, sendo este “0” inicial. Gráfico 3.

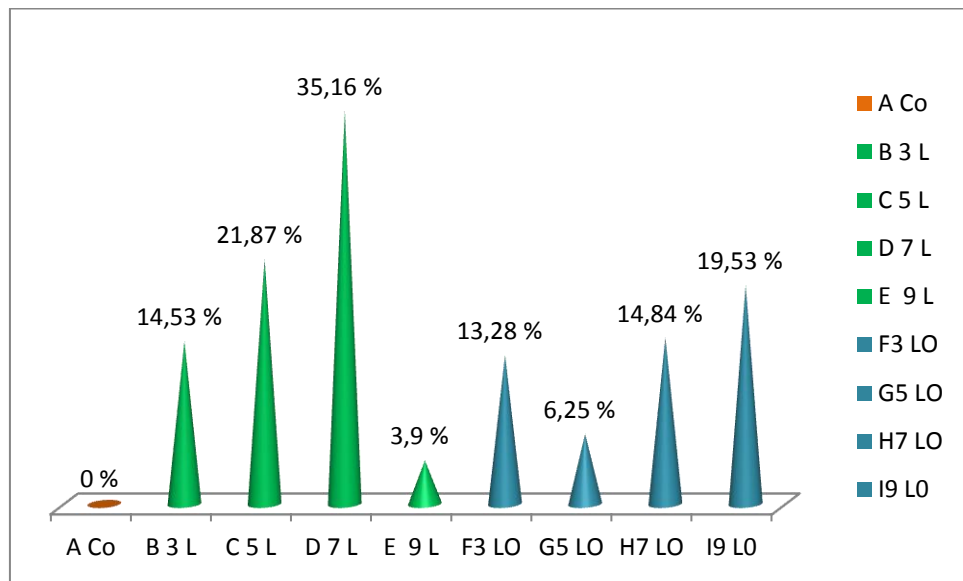


Gráfico 3: Valor numérico em porcentagem da produção de sementes por tratamento em relação ao tratamento controle (0%).

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

Foi possível observar a interação entre as radículas da planta e as estruturas do biochar, servindo-se de seus nutrientes no momento do desmonte dos vasos. (Figura 6).

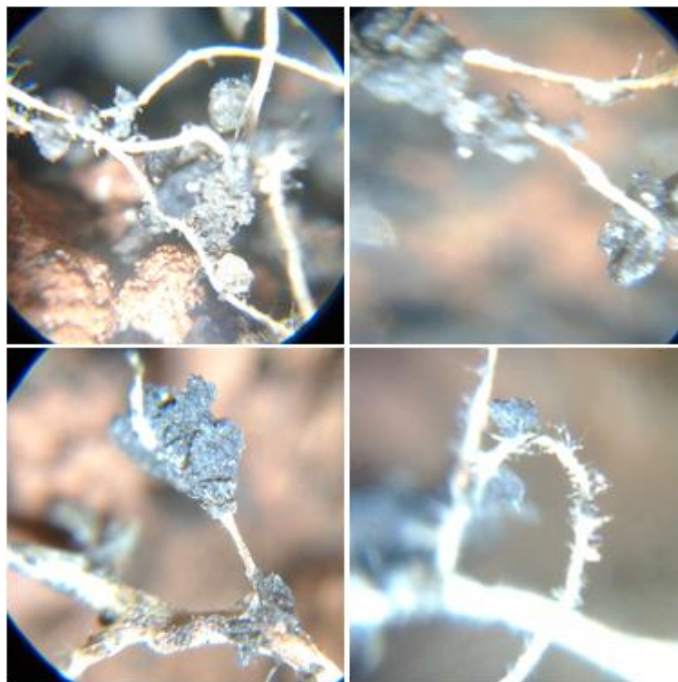


Figura 6: Observação em quatro microscópios com um aumento de 100 vezes.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

O uso de biochar propiciou plantas resistentes, não sendo necessário uso de agroquímicos e nem adubações suplementares. As plantas de sorgo BRS 330 desenvolveram-se de maneira bastante uniforme. As figuras a seguir expõe esse desenvolvimento:

Aos 25 dias, todas as plantas se encontram pegas, com desenvolvimento uniforme e não ocorreram sinais de deficiência mineral e ataques de pragas. (Figura 7).



Figura 7: Plantas de sorgo e florada de mini rosas atestando a qualidade do ambiente.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

Por volta dos 45 dias, as plantas se encontravam viçosas, sem aparente deficiência mineral ou incidência de pragas.



Figura 8: Plantas aos 45 dias em pleno desenvolvimento.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

Aos 60 dias, quase todas as plantas de sorgo já haviam iniciado o ciclo de florescimento, onde para esse cultivar seria esperado por volta dos 71 dias (Embrapa sorgo e milho, 2016). Sem aparente deficiência mineral, mas com surgimento de algumas lagarta-do-cartucho que foram controladas por catação. (Figura 9).



Figura 9: Ciclo precoce de florescimento.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

Ao redor dos 75 dias, todas as panículas estavam repletas de sementes, sem aparente deficiência mineral ou incidência de pragas. (Figura 10).



Figura 10: As plantas já se encontravam em processo de maturação das sementes.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

Finalmente aos 90 dias, foi encerrada a irrigação, onde todos os cachos formados se encontravam com os grãos maduros. (Figura 11).

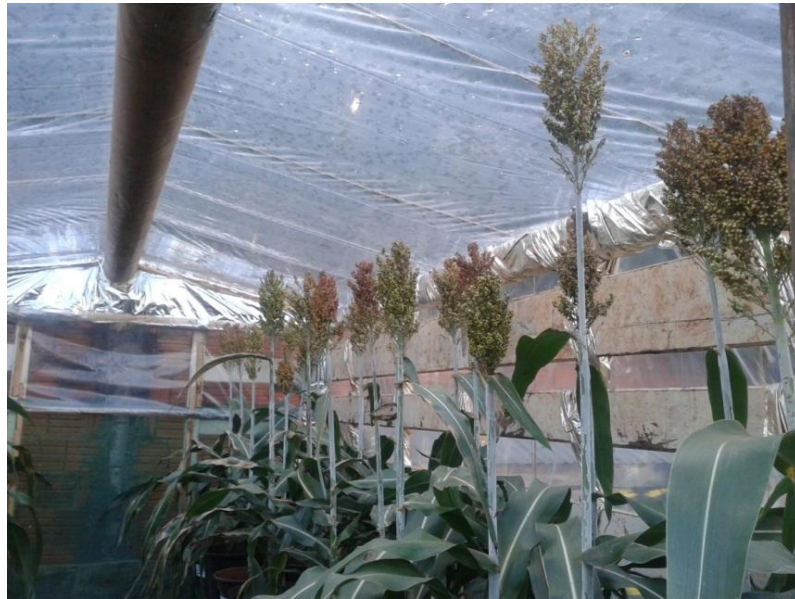


Figura 11: Vista do desenvolvimento total das plantas de sorgo BRS330.

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

A colheita ocorreu aos 110 dias, onde as plantas já se encontravam com baixo índice de umidade. O melhor resultado individual foi o do vaso 11, onde seu cacho mediu 25 x 9 cm, peso total da panícula e sementes de 72 gramas e 46 gramas apenas de sementes. Também foi o melhor resultado na média o tratamento que utilizou os pellets de biochar 7mm de diâmetro. (Figura 12).



Figura 12: Panícula de sorgo medida e pesada .

Fonte: PROENÇA, U. C. M.

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.