

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

THAÍS LIEMI OSHIRO

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BRIQUETES
PRODUZIDOS COM RESÍDUOS LIGNOCELULOSICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2016

THAÍS LIEMI OSHIRO

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BRIQUETES
PRODUZIDOS COM RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Nagamine Constanzi

LONDRINA

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Produção e caracterização de briquetes produzidos com resíduos
lignocelulósicos.

por

Thaís Liemi Oshiro

Monografia apresentada no dia 23 de Junho de 2016 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Constanzi
(UTFPR)

Prof. Aulus Roberto Romão Bineli
(UTFPR)

Prof. Dr. Alexandre de Sordi
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre comigo, me abençoando e me protegendo a cada dia, me proporcionando grandes momentos e oportunidades, além de me dar forças para lutar.

Agradeço aos meus pais, Venâncio Akira Oshiro e Regina Massae Assega Oshiro pelo incentivo, apoio e força que vocês me dão sempre. Obrigada por sempre acreditarem em mim.

Às minhas amigas da república CT, pelos ótimos anos de convivência e irmandade. Aos meus amigos, Gustavo H. Pedro, André Rocha, Fernanda Guelere, Leonardo Caetano, Bruno Boaretto, Yuri Mendes, Gabriella Ornelas por terem me apoiado durante esse trabalho e me darem o incentivo de cada dia. Filippe De Carvalho Bernardino, por ter me auxiliado com os ensaios para desenvolver este trabalho.

E ao meu orientador, professor Dr. Ricardo Constanzi Nagamine, por ter acreditado em mim e ter me acompanhado nessa jornada, me auxiliando e compartilhando comigo os seus conhecimentos, juntamente aos professores Aulus Bineli e Alexandre Sordi, minha gratidão por tudo que fizeram por mim.

RESUMO

OSHIRO, Thaís Liemi. Produção e caracterização de briquetes produzidos com resíduos lignocelulósicos. 2016. 58p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

O Brasil é um país que se destaca em suas atividades agroindustriais, assim como nas atividades de processamento de madeira, o que ocasiona a geração de uma grande quantidade de resíduos. Na maioria das vezes estes resíduos são depositados inadequadamente no ambiente, ocasionando impactos ambientais negativos. A fim de minimizar esses impactos, novos meios de tratamento, disposição e o aproveitamento dos resíduos para agregar valor às cadeias produtivas estão sendo considerados. Assim, o presente trabalho buscou a utilização dos resíduos agrícolas e de maravalha proveniente de serrarias para a produção de briquetes para fins energéticos. Para isso, foram caracterizados os resíduos a partir das variáveis massa específica, umidade, teor de material volátil, cinzas e carbono fixo, além da análise elementar dos resíduos e cálculo do poder calorífico. Os briquetes foram produzidos na própria Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). A carga da prensa foi variada de 1 a 6 toneladas nos ensaios de compactação dos resíduos. Também foram variadas as composições dos briquetes a partir dos resíduos agrícolas e da maravalha. Os ensaios foram realizados por meio de planejamento estatístico Delineamento Composto de Central Rotacional (DCCR), totalizando 11 ensaios. Foi possível observar que a carga aplicada durante a compactação foi a variável de maior influência tanto no tamanho final do briquete quanto na compressibilidade. Com o presente trabalho pode-se concluir que os resíduos utilizados têm grandes potenciais para geração de energia, pois apresentaram baixo teor de umidade, sendo 12,64% para resíduo agrícola e 18,14% para maravalha; baixo teor de cinzas, 0,30% para resíduo agrícola e 0,0087% para a maravalha, além de ambos resíduos apresentarem alto teor de voláteis, 76,98% para resíduo agrícola e 89,86% para maravalha, além de poder calorífico superior e inferior de 19624,405 e 18249,147 kJ/kg, respectivamente, para resíduo agrícola e 23371,738 e 22068,58 kJ/kg para maravalha.

Palavras-chave: Briquete. Resíduos lignocelulósicos. Maravalha. Resíduo agrícola.

ABSTRACT

OSHIRO, ThaísLiemi. Production and characterization of briquettes produced from lignocellulosic residues. 2016. 48p. Work Completion of course - Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2016.

Brazil is a country that contrasts in its agroindustrial activities as well as in wood process, which generates a great quantity of residues. Most of the time, these residues are deposited inappropriately in the environment, generating negatives environmental impacts. In order to minimize these impacts, new ways of treatment, disposition and recovery of wastes to add value to the production chain are being considered. Have said that, this study researched the use of agricultural residues and wood shavings from sawmills to the production of briquettes to energy purposes. The residues were characterized using variables like density, moisture, volatile matter content, ash and fixed carbon of the collected wastes plus elemental analysis of waste and the calculus of the calorific value. The briquettes were produced in the Federal University of Technology. The press load varied from 1 to 6 tons in the waste compaction tests. The composition of the briquettes varied because of the agricultural residues and wood shavings. The tests were performed by statistical planning Outlining Central Composite Rotational, totalizing 11 trials. It was possible to observe that the load applied during compression was the variable that most influenced both the final size of the briquette, and the compressibility. With this project, it could be concluded that the used residues have great potential to generate energy because these residues presented: low moisture, being 12,64% to agricultural residues and 18,14% to wood shavings; low ash quantity, being 0,30% to agricultural residues and 0,0087% to wood shaving, and both residues presented high levels of volatiles, 76,98% to agricultural residues and 89,86% to wood shavings, as well as upper and lower calorific value of 19624.405 and 18249.147 kJ / kg , respectively, to agricultural waste and 23371.738 and 22068.58 kJ / kg for wood shavings .

Key-words: Briquette. lignocellulosic residues. Wood shavings. Agricultural waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte – Ano Base 2013.	22
Figura 2 - Composição Setorial do Consumo Final da Biomassa. Ano Base: 2013. Fonte: EPE, 2014.	23
Figura 3– Briquetes.	27
Figura 4 - Cadinhos com amostras de resíduos.	41
Figura 5 - Peneiras para ensaio de granulometria.	42
Figura 6 - Amostras obtidas do ensaio de peneiramento.	44
Figura 7 - Forno Mufla modelo Marconi MA 385.	45
Figura 8 - Prensa hidráulica da marca Skay com capacidade de 30 toneladas, 2016.	50
Figura 9 - Briquete produzido em ensaio de compactação.	64
Figura 10 - Gráfico de Efeito Padrão de Pareto. Variável: Tamanho do Briquete.	66
Figura 11 - Curva de contorno para Volume de Maravalha versus Carga. Variável: Tamanho do briquete.	67
Figura 12- Gráfico de Efeito Padrão de Pareto. Variável: Compressibilidade. .	68
Figura 13 – Curva de contorno para Volume de Maravalha versus Carga. Variável: Compressibilidade.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados pelo processamento de produtos agrícolas no estado do Paraná e no Brasil (2009).	19
Tabela 2 - Comparativo Briquete x Lenha.	30
Tabela 3 - Comparação do Consumo Mensal do Briquete x Lenha	31

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais Vantagens do Briquete Sobre a Lenha.	30
Quadro 2 - Ordem das Peneiras para Ensaio de Granulometria.	43
Quadro 3 - Marchas de Carbonização para o Ensaio de Materiais Voláteis.	45
Quadro 4 - Parâmetros dos Ensaios de Compactação dos Resíduos.	49
Quadro 5 - Massa específica dos resíduos 52	52
Quadro 6 - Umidade dos Resíduos.	54
Quadro 7 - Umidade Média Final dos Resíduos.	55
Quadro 8 - Valores médios de voláteis, cinzas e carbono fixo dos resíduos com desvio padrão.	56
Quadro 9 - Valores de análise imediata por Ramos e Paula (2010).	56
Quadro 10 - Resultados da Análise Elementar dos Resíduos.	59
Quadro 11 - Valores médios da análise elementar dos resíduos agrícola e maravalha, seus desvios padrão e a relação C/N e C/H.	60
Quadro 12 - Valores de análise elementar por Ramos e Paula (2010).	60
Quadro 13 – Comparativo: Lenha X Carvão X Resíduo Agrícola X Maravalha.	63
Quadro 14 - Matriz de Planejamento DCCR com valores codificados e respostas.	65

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

BEN – Balanço Energético Nacional;

CEMBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa;

CEPEA - Centro de pesquisas econômicas da Escola Superior de Agricultura;

CENBIO -Centro Nacional de Referência em Biomassa;

CETEM – Central de Tecnologia Mineral;

CMTU - Companhia Municipal de Trânsito e Urbanização de Londrina;

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente;

DCCR - Delineamento Composto Central Rotacional;

IBDS – Instituto Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável;

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômico Aplicada;

MV - Materiais Voláteis;

OIE – Oferta Interna de Energia;

PIB – Produto Interno Bruto;

PCI – Poder Calorífico Inferior;

PCS – Poder Calorífico Superior;

SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura;

Tc - Teor de Cinzas;

TCF -Teor de Carbono Fixo;

Tv - Teor de Voláteis;

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas;

USP – Universidade de São Paulo;

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. OBJETIVOS GERAIS.....	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1. RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS	16
3.1.1. <i>GERAÇÃO DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS</i>	18
3.1.2. <i>IMPACTOS DOS RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS</i>	19
3.2. O USO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS	21
3.3. HISTÓRICO DA BRIQUETAGEM	25
3.3.1. <i>CONCEITO DE BRIQUETAGEM</i>	25
3.3.2. <i>PRINCIPAIS VANTAGENS DO BRIQUETE</i>	28
3.3.3. <i>COMPARAÇÃO: BRIQUETE X LENHA</i>	29
3.4. O PROCESSO DE BRIQUETAGEM	32
3.4.1. <i>MASSA ESPECÍFICA</i>	34
3.4.2. <i>TEOR DE UMIDADE</i>	34
3.4.3. <i>TAMANHO DAS PARTÍCULAS E BRIQUETE</i>	35
3.4.4. <i>TEOR DE VOLÁTEIS</i>	36
3.4.5. <i>TEOR DE CINZAS</i>	36
3.4.6. <i>TEOR DE CARBONO FIXO</i>	37
3.4.7. <i>ANÁLISE ELEMENTAR</i>	37
3.4.8. <i>PODER CALORÍFICO</i>	38
4. MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1. COLETA E PREPARO DE MATERIAL	38
4.2. MASSA ESPECÍFICA DOS RESÍDUOS.....	39
4.3. TEOR DE UMIDADE	40
4.4. ENSAIO DE GRANULOMETRIA	41
4.5. TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS	44
4.6. TEOR DE CINZAS.....	46
4.7. TEOR DE CARBONO FIXO	46
4.8. ANÁLISE ELEMENTAR	47
4.9. PRODUÇÃO DOS BRIQUETES.....	48
4.10. PODER CALORÍFICO.....	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.1. MASSA ESPECÍFICA.....	52
5.2. TEOR DE UMIDADE	53

5.3. TEOR DE VOLÁTEIS, CINZAS E CARBONO FIXO.....	56
5.4. ANALISE ELEMENTAR	59
5.5. PODER CALORÍFICO.....	62
5.6. CONFECÇÃO DOS BRIQUETES	63
5.7. INFLUÊNCIA DA CARGA E DO VOLUME DE MARAVALHA NOS ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO.....	64
6. CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS.....	72

1. INTRODUÇÃO

A discussão sobre formas alternativas de energia é de grande importância para o cenário energético atual. O Brasil e o mundo estão em processo acelerado de urbanização, o que ocasiona maior demanda e uso de energia.

No ano de 2013, segundo dados do BEN (2014), a matriz energética brasileira concentrou o uso em mais de 39,3% nas fontes derivadas do petróleo, 12,8% de gás natural, 5,6 % provenientes do carvão mineral e 1,3 % do urânio. O consumo das fontes energéticas renováveis, biomassa da cana, hidráulica, lenha e carvão vegetal e lixívia corresponderam a 16,1, 12,5, 8,3 e 4,2 %, respectivamente.

No Brasil, a década de 70 foi especialmente marcada por grande substituição da lenha por derivados de petróleo, o que reduziu significativamente a sua participação na Oferta Interna de Energia (OIE). No início da década de 80, o processo de substituição na indústria foi atenuado, com a elevação dos preços internos do óleo combustível e do gás natural, favorecendo um maior uso da lenha e do carvão vegetal (Marchiori, 2006).

O alto incremento do uso industrial de biomassa, na primeira metade da década de 80, se deve ao carvão vegetal, em substituição ao óleo combustível; ao bagaço de cana utilizado na produção de álcool e à expansão da siderurgia a carvão vegetal. O consumo de biomassa nos setores residencial e agropecuário diminuiu em razão da menor utilização da lenha (Marchiori, 2006).

A produção e utilização dessa biomassa é responsável pela geração de uma grande quantidade de resíduos, que na maioria das vezes é depositado inadequadamente no ambiente, ocasionando impactos ambientais, perda de matéria-prima e energia (Ramos e Paula, 2011).

A fim de minimizar impactos ambientais relacionado à grande geração e má destinação de resíduos sólidos urbanos e agroindustriais, deve ser levado em consideração à busca por novos meios de tratamento, disposição e o aproveitamento dos resíduos para agregar valor às cadeias produtivas.

Um meio de aproveitamento desses resíduos é pela briquetagem, método de reciclagem para os resíduos provenientes da madeira, que gera como produto o briquete, uma forma alternativa de produção de energia.

Além de resíduos de madeira e carvão, outros resíduos podem ser utilizados como, por exemplo, a casca de arroz, palha de milho, sabugo, casca de coco, bagaço de cana, torta e casca de oleaginosas, resíduos em geral (Sant'Anna et al., 2012).

De acordo com Quirino (ND) o processo de briquetagem consiste na densificação de resíduos, sendo que todos os resíduos de origem vegetais podem ser compactados pela briquetagem, basta atender as especificações do processo, ou seja, uma granulometria e um teor de umidades controladas. A vantagem desse processo está em transformar um resíduo de baixíssima densidade em uma lenha ecológica de alta qualidade, pois quando comparado a lenha, o briquete apresenta propriedades mais vantajosas para o uso energético.

A produção de briquetes já é bastante conhecida no exterior, principalmente nos EUA e Europa, porém no Brasil, a prática ainda não é tão desenvolvida.

Os briquetes possuem aplicações em diversos setores que necessitam de combustível calorífico para produção, essas indústrias podem ser fundições, como combustível de caldeiras, em fornos comerciais e industriais, como em padarias, hotéis, pizzarias.

Sendo assim, o presente trabalho buscou a utilização dos resíduos lignocelulósicos para fins energéticos através da produção de briquetes, nos quais os resíduos utilizados no processo de produção foram os resíduos agrícolas e maravalha proveniente de serrarias, tendo suas proporções alteradas para que em seguida fosse realizada a caracterização e análise dos briquetes.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GERAIS

Avaliar a confecção de briquetes a partir de resíduos lignocelulósicos, especificamente resíduos agrícolas e maravalha, em sistema de prensagem como uma alternativa de aproveitamento energético destes resíduos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular a massa específica, umidade, teor de material volátil, teor de cinzas e carbono fixo dos resíduos lignocelulósicos coletados;
- Produzir briquetes a partir dos resíduos agrícolas e maravalha, alterando as proporções de cada tipo de resíduo e a carga aplicada na compactação dos resíduos;
- Obter análise elementar dos resíduos para determinar o poder calorífico inferior (PCI) e poder calorífico superior (PCS);

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS

O Brasil é considerado como um dos maiores produtores agrícolas devido à disponibilidade de área para cultivo, possibilidade de introdução de culturas variadas à posição geográfica (condições climáticas adequadas), além de sua rica biodiversidade e tecnologia avançada, afigura-se, portanto como um fornecedor com potencial altíssimo de matérias primas (resíduos) para a produção de bioenergia (Vieira, 2012)

A definição de resíduos segundo a Norma Brasileira 10.004:

“[...] resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos que resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Considera-se também, resíduo sólido os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível” (ABNT, 2004).

Segundo Ramos e Paula (2010) resíduos lignocelulósicos são resíduos que contém lignina e celulose na sua constituição sendo, na maioria das vezes, de origem vegetal. Como por exemplo, rejeitos provenientes da madeira ou da indústria madeireira, móveis velhos, restos de madeira de demolições, resíduos de culturas agrícolas ou de beneficiamento de produtos agrícolas, postes, estacas, palletes e outros. A exploração florestal é uma grande fonte de resíduos lignocelulósicos, uma parte significativa destes resíduos provenientes de utensílios e embalagens em madeira é encontrada também no lixo urbano.

Os resíduos originados do processamento da madeira em indústrias madeireiras ou moveleiras, palletes em desuso, móveis velhos, artigos de madeira em geral, estacas, moirões, galhos de árvores podadas, resíduos de culturas agrícolas, como palha de arroz, bagaço de cana-de-açúcar etc, são resíduos ligno-celulósicos. Os resíduos ligno-celulósicos geralmente apresentam formas e granulometria bastante heterogênea, baixa densidade e elevado teor de umidade (Quirino, 2004).

Segundo Vieira (2012), resíduos de origem agrícola são aqueles que apresentam grande potencial para serem utilizados na produção de energia, como os resíduos de culturas agrícolas e de seu beneficiamento ou as palhas, cascas de frutos, cereais, bagaços, resíduos das podas de pomares e vinhas, rejeitos madeireiros e outros.

Segundo dados apresentados pelo IPEA (2012), em 2010 o agronegócio brasileiro (insumos, agricultura, agroindústria e distribuição) foi responsável por 15,74% do produto interno bruto (PIB) nacional, o valor movimentado pelo setor passou de R\$ 423,46 bilhões, em 2000, para R\$ 578,39 bilhões em 2010.

Com o crescimento da produção, o Brasil vem se firmando como um dos principais fornecedores no mercado internacional de alimentos, e esta participação tende a continuar crescendo. Segundo projeção do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, a taxa anual média de crescimento da produção de lavouras entre os anos de 2010 e 2020 deverá ser de 2,67%. Esta projeção indica que o Brasil terá, no ano de 2021, uma produção de grãos superior a 195 milhões de toneladas (t), em uma área pouco superior a 50,7 milhões de hectares (ha) (IPEA, 2012).

De acordo com Vale e Gentil (2008) a preocupação com a poluição e o uso dos resíduos gerados pela utilização da biomassa vegetal não pode ser deixada de lado. Na maioria das vezes os resíduos vegetais são descartados de forma inadequada ou queimados diretamente para sua eliminação, causando impactos ambientais devido ao aumento considerável na poluição do meio ambiente, além de representar perdas de matéria prima e energia.

Segundo a resolução CONAMA Nº 001, de 23 de Janeiro de 1986, considera-se impacto ambiental:

“[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais” (CONAMA 1986).

3.1.1. GERAÇÃO DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS

FROEHLICH et al. (2012) afirma que o aproveitamento do volume total de uma tora é apenas de 40 a 60%, ou seja, de cada dez árvores cortadas apenas cinco são aproveitadas em sua totalidade.

Segundo Tuoto (2009) estima-se que sejam gerados no Brasil aproximadamente 30 milhões de toneladas de resíduos de madeira anualmente. A principal fonte geradora de resíduos é a indústria madeireira, a qual contribui com 91% dos resíduos de madeira gerados, gerando um total de aproximadamente 28 milhões de t por ano. Enquanto resíduos de madeira da construção civil representam um total de 3% e o meio urbano de 8%.

Dados do IPEA (2012) indicam que a produção de resíduos agrícolas é variável, pois dependem da espécie cultivada, do fim a que se destina, das condições de fertilidade do solo, condições climáticas, entre outros fatores, ou seja, a geração de resíduos na agroindústria é, marcadamente, sazonal, uma vez que a matéria-prima é de produção irregular no ano, sendo assim, existe alta instabilidade do volume produzido de resíduos agroindustriais. Não foi possível estimar dados concretos sobre a geração desses resíduos no município de Londrina-PR, pois não foram encontrados estudos consistentes que permitam quantificá-la. Os dados obtidos foram a quantidade de hectares plantados de algumas culturas no estado do Paraná, hectares colhidos, produção total e resíduos gerados no estado e no País, levando em consideração as perdas de colheita.

Na Tabela 1, são apresentados os dados de área plantada, área colhida, produção colhida e o montante estimado de resíduos gerados na agroindústria no ano de 2009.

Tabela 1 - Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados pelo processamento de produtos agrícolas no estado do Paraná e no Brasil (2009).

CULTURAS	ÁREA PLANTADA (ha)	ÁREA COLHIDA (ha)	PRODUÇÃO TOTAL COLHIDA (t)	RESÍDUOS GERADOS PR (t)	RESÍDUOS GERADOS - BRASIL
SOJA	4.077.052	4.077.052	9.408.991	6.868.563	41.862.129
MILHO	2.806.026	2.740.715	11.287.878	6.546.969	29.432.678
CANA-DE-AÇÚCAR	595.371	595.371	53.831.791	16.149.537	201.418.487
FEIJÃO	642.816	641.236	787.180	417.205	1.847.984
ARROZ	43.729	43.729	167.349	33.470	2.530.355
TRIGO	1.308.792	1.308.792	2.482.776	1.489.666	3.033.315
CAFÉ	85.324	85.324	89.213	44.607	1.220.029

Fonte: Adaptado IPEA, 2012.

3.1.2. IMPACTOS DOS RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS

Com o aumento da geração de resíduos sólidos e sua concentração espacial devido ao processo de urbanização diminuem as chances de assimilação dos resíduos pelo meio ambiente. A contaminação do meio pode afetar tanto a população local quando a fauna e a flora.

De acordo com Mota et al. (2009):

O descarte dos resíduos tem se tornado um problema mundial quanto ao prejuízo e poluição do meio ambiente, caso estes sejam descartados sem nenhum tratamento, onde se pode afetar tanto o solo, a água e/ou o ar. A poluição do solo pode alterar suas características físico-químicas, que representa uma séria ameaça à saúde pública tornando-se o ambiente propício ao desenvolvimento de transmissores de doenças. A poluição da água pode alterar as características do ambiente aquático, através da percolação do líquido gerado pela decomposição da matéria orgânica presente no lixo, associado com as águas pluviais e nascentes existentes nos

locais de descarga dos resíduos. Enquanto que a poluição do ar pode provocar a formação de gases naturais na massa de lixo, pela decomposição dos resíduos com e sem a presença de oxigênio no meio, originando riscos de migração de gás, explosões e até de doenças respiratórias, se em contato direto com os mesmos.

Segundo Pereira (nd), os resíduos provocam impactos tanto de ordem social (com o acúmulo em vias públicas, a má destinação destes resíduos e surgimento de uma população “catadora”), quanto de ordem ambiental (poluição visual, proliferação de macro e micro vetores, poluição do solo, do ar e dos lençóis freáticos).

Marques (2011) afirma que a geração de resíduos causa impactos negativos como alteração de paisagem devido à poluição visual, a liberação de maus odores ou substâncias químicas voláteis pela decomposição dos resíduos. Ainda, materiais particulados podem ser dispersos pela ação do vento ou serem liberados juntamente a gases tóxicos quando os resíduos são queimados.

Outra problemática é devido à má disposição desses resíduos, Castilho Junior (1988) afirma que o lançamento destes resíduos em encostas onde a topografia é acidentada aumenta o risco de deslizamentos do solo. As características químicas são associadas aos impactos, como poluição e contaminação química por substâncias perigosas presentes nos resíduos, carreadas pela infiltração de lixiviado no solo e nos aquíferos subterrâneos ou quando este atinge os corpos d’água devido ao escoamento superficial.

Silva (2002) citado por Marozzi (2012) afirma que a atividade madeireira possui altos índices de desperdícios, pois apenas 1/3 da madeira extraída se transforma em produto final, enquanto 2/3 de todas as árvores exploradas acabam virando “sobras” ou serragem, e na maior parte das vezes, esses resíduos não possuem destinação correta.

Tudo que não serve para o comércio regular vai para o lixo ou é queimado. Os resíduos do processamento de madeira na maioria das vezes são depositados de forma inadequada. Alguns são queimados em caldeiras, mas não é uma prática comum. A maioria deposita os resíduos nas áreas periféricas das serrarias. Quando estes são queimados contribuem com aumento da poluição do ar provocando danos ao ambiente e às populações existentes próximas a essas indústrias (SILVA, 2002 apud MAROZZI, 2012).

Segundo Matos (2005) os resíduos do cultivo agrícola são constituídos de restos de plantas não aproveitados comercialmente, como por exemplo, a “cana” de milho, “palha” de feijão, “palha” de soja, etc. Além da possível contaminação direta provocada por resíduos sólidos orgânicos, os maiores impactos provocados são decorrentes da fermentação do material, quando pode ocorrer a formação de ácidos orgânicos (“chorume” – líquido de elevada DBO formado com a degradação do material orgânico e a lixiviação de substâncias tóxicas) com geração de maus odores e diminuição do oxigênio dissolvido em águas superficiais. Ainda segundo o mesmo autor, a produção de gases fétidos provoca desconforto aos seres humanos e animais, além disso, podem atrair vetores de doenças, pois o material orgânico é, também, habitat para proliferação de micro-bactérias, fungos, vírus, protozoários e macro-vetores, como moscas, mosquitos, baratas e ratos.

Se os padrões de consumo da população forem mantidos, com o crescimento acentuado da população mundial, a quantidade de resíduos gerados tende somente a se multiplicar.

3.2. O USO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS

O Brasil é um grande produtor florestal e agrícola devido a sua extensa área de cultivo, à possibilidade de implantação de diferentes culturas, à posição no globo com intensa radiação durante o ano, ao clima tropical, além da imensurável biodiversidade e alta tecnologia. Nesse contexto, o país se tornou um dos maiores produtores de madeira e produtos agrícolas. No entanto, essa grande produção também gera grande quantidade de resíduos, os quais podem causar graves problemas ambientais (Ramos e Paula, 2010).

De acordo com Ramos e Paula (2010) a madeira é um importante insumo que nas últimas décadas vem se valorizando devida expansão dos seus usos e da escassez nas regiões tradicionalmente consumidoras.

A produção de madeira em toras plantadas para uso industrial no Brasil em 2007 foi de 152,6 milhões de m³, 0,8% a mais do que no ano de 2006,

gerando aproximadamente 76 milhões de m³ de resíduos, sendo estes dados da Sociedade Brasileira de Silvicultura – SBS (2008).

O desperdício da madeira utilizada para fins energéticos pode chegar a 70% da massa original disponível, segundo Ramos e Paula (2010), o desperdício ocorre devido ao mau dimensionamento de equipamentos (fornalhas, fogões, fornos), ao despreparo dos operadores e ainda pela inexistência de meios eficazes para o aproveitamento integral do material lenhoso.

Atualmente, tanto no cenário internacional quanto no Brasil, buscam-se novas fontes de energia preferencialmente sustentáveis, devido à escassez de fontes não renováveis e aos impactos ambientais negativos causados por estas ao meio ambiente. Uma alternativa adequada para fazer frente a este cenário é o uso da biomassa como fonte sustentável de energia.

A Figura 1 representa a oferta interna de energia elétrica por fonte de geração, tomando como ano base 2013.

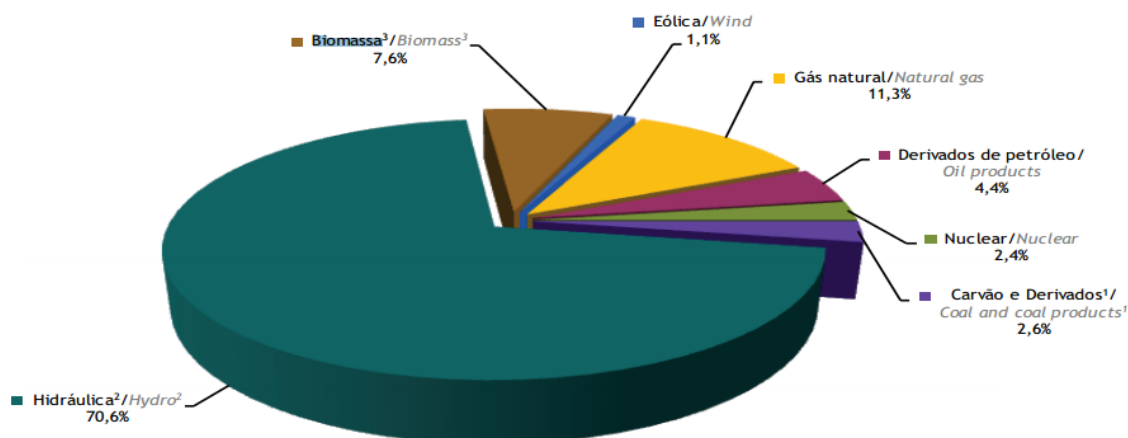


Figura 1 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte – Ano Base 2013.

Fonte: EPE, 2014.

Segundo a Figura 1 com dados da Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2014), a biomassa representava, no ano de 2013, 7,6% da oferta interna de energia elétrica no país. Os benefícios do reaproveitamento energético desses resíduos são inúmeros, tanto em nível social quanto ambiental e econômico. A mudança do sistema de destinação final dos resíduos leva à

redução do volume anual a ser aterrado ou disposto de forma inadequada, reduzindo igualmente as áreas requeridas para a implantação de novos aterros sanitários e trazendo outros benefícios indiretos, como a geração de emprego e renda, e evitando ainda a possível supressão de vegetação e mudança no relevo, entre outros problemas.

A Figura 2 representa a composição setorial do consumo final da biomassa, de acordo com dados da EPE, tomando como base o ano de 2013.

SETORES	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	SECTORS
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO (10 ³ tep)	52.600	54.492	57.495	62.626	67.796	65.985	69.849	65.269	64.984	67.752	FINAL CONSUMPTION (10 ³ toe)
SETOR ENERGÉTICO	14,2	14,8	15,6	16,9	19,6	18,6	18,3	16,0	16,2	18,1	ENERGY SECTOR
RESIDENCIAL	16,3	16,1	15,3	13,3	12,1	12,3	11,1	10,7	10,7	9,1	RESIDENTIAL
COMERCIAL E PÚBLICO	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	COMMERCIAL AND PUBLIC
AGROPECUÁRIO	4,1	4,0	3,9	3,8	3,8	3,7	3,6	3,8	3,8	3,9	AGRICULTURE AND LIVESTOCK
TRANSPORTES	12,3	12,8	11,1	13,8	16,2	17,9	17,2	16,4	15,2	17,5	TRANSPORTATION
INDUSTRIAL	52,9	52,1	53,9	52,0	48,0	47,3	49,5	52,8	53,9	51,1	INDUSTRIAL
CIMENTO	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,1	0,5	0,9	0,6	0,5	CEMENT
FERRO-GUSA E AÇO	9,3	8,8	8,1	7,6	6,9	4,1	4,8	5,3	5,1	4,5	PIG-IRON AND STEEL
FERRO-LIGAS	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	IRON-ALLOYS
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	MINING/ PELLETIZATION
NÃO-FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	NON-FERROUS/OTHER METALLURGICAL
QUÍMICA	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	CHEMICAL
ALIMENTOS E BEBIDAS	27,7	27,3	29,7	28,8	25,6	27,6	28,0	29,4	31,0	28,8	FOODS AND BEVERAGES
TÊXTIL	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	TEXTILES
PAPEL E CELULOSE	9,2	9,3	9,6	9,4	9,2	10,0	10,2	11,0	10,7	11,0	PAPER AND PULP
CERÂMICA	3,1	3,2	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,8	3,9	4,0	CERAMICS
OUTROS	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,4	OTHERS
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	TOTAL

Nota: Inclui bagaço de cana, lenha, outras fontes primárias renováveis, carvão vegetal e álcool. / Note: Including sugar cane bagasse, firewood, charcoal, alcohol and other renewable primary sources.

Figura 2 - Composição Setorial do Consumo Final da Biomassa. Ano Base: 2013.
Fonte: EPE, 2014.

Pode-se notar que o consumo final de energia de biomassa vem crescendo nos últimos anos, dados de 2004 a 2013, na qual apresentaram valores de 52.600×10^3 tep (tonelada equivalente de petróleo) em 2004 e 67.752×10^3 tep no ano de 2013.

Para Quirino (2003) a utilização desses resíduos na produção de energia é uma alternativa para agregar valor e reduzir os impactos causados, pois a utilização dos mesmos na produção energética possui grandes vantagens, como por exemplo, a mudança na matriz energética.

Esses resíduos podem ser transformados em partículas e constituir-se em painéis à base de madeira, sendo também utilizados energeticamente na produção de calor, de vapor ou de eletricidade em termoelétricas, de acordo com Quirino (2004). Outra forma de aproveitamento deste material é sob a forma de combustível sólido, como o carvão vegetal.

Segundo a Agri-World (2015), atualmente a biomassa responde por 9,53% da matriz energética brasileira. No país, a biomassa energética possui como destaque o bagaço de cana, resíduos florestais, lichivia (subproduto da indústria papelreira), biogás proveniente do lixo, resíduos sólidos urbanos orgânicos e resíduos agropecuários.

Com o aproveitamento da energia resultante da queima desses produtos – ao que damos o nome de cogeração –, podem ser produzidos no Brasil 28 mil MW, o equivalente a duas usinas de Itaipu, segundo a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica). Hoje, a geração de eletricidade por biomassa no país já superou os 7 mil MW. As usinas de cogeração a biomassa funcionam como termelétricas, com a diferença que o combustível deve ser processado antes de ser queimado. O tamanho médio das usinas também é inferior ao de grandes termelétricas, pois precisam estar próximas às plantações (GreenPeace, 2010).

Na utilização de resíduos vegetais para a geração de energia, é importante o conhecimento de algumas propriedades destes por meio da análise elementar, química e do poder calorífico.

Segundo Ramos e Paula (2010), o desejável para a produção energética, é que o material tenha pequena quantidade de cinzas na análise química e em relação a análise imediata é ideal um alto teor de carbono fixo e baixa umidade.

3.3. HISTÓRICO DA BRIQUETAGEM

De acordo com Carvalho e Brinck (2004) em 1848, nos Estados Unidos, William Easby patenteou um método que convertia carvões miúdos em torrões sólidos por meio da pressão. Depois de 14 anos da patente de Easby, a palavra briquette surgiu na cidade de Paris, na França, sendo uma mistura de turfa, água e argila plástica.

Conforme Carvalho e Brink (2004), na década de 60 surgiram as primeiras iniciativas de utilização deste processo no Brasil, na companhia Siderúrgica Belgo Mineiro do estado de Minas Gerais, com a instalação de um equipamento da empresa alemã Humboldt.

Segundo Zorzan et al. (2011), atualmente o Brasil passa por um cenário em que vários processos tecnológicos de geração de energia são investigados, buscando atender à crescente demanda. Neste contexto, um importante papel é atribuído as fontes de energias renováveis entre elas cabem ressaltar a reutilização da biomassa vegetal (resíduos lignocelulósicos) no processo de briquetagem.

De acordo com Quirino (2000), “A técnica de compactação de resíduos para uso energético ainda é pouco conhecida e pouco utilizada no Brasil”.

A produção de briquetes já é bastante conhecida no exterior, principalmente nos EUA e Europa, através da briquetagem de carvão vegetal. No Brasil, não existe uma tradição industrial na produção de briquetes de carvão vegetal ou de resíduos lignocelulósicos (Marchiori, 2006).

3.3.1. CONCEITO DE BRIQUETAGEM

Segundo Zorzan et al (2011), a briquetagem é uma das técnicas empregadas para o aproveitamento de resíduos de madeira na forma de combustível.

A briquetagem é um processo de densificação de resíduos. Segundo Quirino (2004), todo resíduo de origem vegetal pode ser compactado pela briquetagem, basta atender às necessidades de granulometria e teor de umidade exigido pelo processo. Esse processo possui a vantagem de transformar um resíduo de baixíssima densidade em um substituto de alta qualidade da lenha.

Segundo Costa & Moraes (2011), o briquete é um bicomcombustível sólido que substitui eficientemente os produtos derivados do petróleo, o GLP (gás liquefeito de petróleo), a lenha, o carvão vegetal, a eletricidade ou o gás natural. Para Vicente (2009 apud Dantas et al, 2012) a substituição de um combustível pelo briquete seria mais vantajosa em atividades ligadas aos setores alimentícios que apresentam grande disponibilidade de resíduos orgânicos em seus processos produtivos.

De acordo com Fontes et al (1984), através do processo de briquetagem é possível conseguir um combustível com homogeneidade granulométrica, maior densidade e resistência a geração de finos no manuseio e transporte. O aumento na densidade proporcionado pelo processo de compactação é capaz de produzir um combustível com maior concentração energética por unidade de volume, desse modo, juntamente com a resistência adquirida pelo material tem-se uma viabilidade técnica e econômica para o transporte em maiores distâncias.

Para LIPPEL (ND), a densificação do resíduo de madeira através do processo de briquetagem consiste na compactação a elevadas pressões, elevando assim a temperatura do processo da ordem de 100°C, que em seguida provocará a plastificação da lignina, substância que atua como elemento aglomerante das partículas de madeira, justificando a não utilização de produtos aglomerantes (resinas, ceras, etc).”

A lenha ecológica, como é conhecido o briquete produzido usualmente com pó de serragem e com restos de madeira descartados por indústrias, pode ser uma boa alternativa de produção de energia além de um meio adequado de se lidar com os resíduos vegetais (Marchiori, 2006).

Segundo Quirino (2003), entre 30 e 40 usinas de briquetagem já funcionam no país, produzindo briquetes dos mais variados resíduos lignocelulósicos.

A Figura 3 apresenta os briquetes:



Figura 3– Briquetes.

Fonte: Artefatos de Madeira Stolf Ltda, 2015.

Os briquetes podem ser utilizados em pizzarias, padarias, hotéis, olarias, laticínios, indústria de gesso, entre outras instalações comerciais e industriais que usam fornos. Além disso, dos briquetes pode ser feito carvão. As pizzarias são os estabelecimentos comerciais que mais utilizam esta lenha ecológica e em relação ao setor industrial, os briquetes são usados como combustível de caldeiras.

Com o reaproveitamento dos resíduos como matéria-prima na produção dos briquetes, o que era resíduo se transformará em energia, ajudando assim na preservação da natureza e na economia de energia (Marchiori, 2006).

Segundo Rodrigues et al. (ND), aqueles briquetes que tem na sua composição mais de um tipo de material são denominados briquetes compostos. A produção desse tipo de briquete é igual a do briquete simples, com exceção da fase de mistura das matérias-primas. Tal semelhança possibilita igualar os seus custos de produção.

3.3.2. PRINCIPAIS VANTAGENS DO BRIQUETE

Segundo Ormond (2006), o briquete é um substituto da lenha 100% natural e ecológico e evita o desmatamento. Apresenta forma regular, constituição homogênea e é de grande utilização para a geração de energia, principalmente em fornos industriais.

A briquetagem é uma forma eficiente para concentrar a energia disponível na biomassa. Este fato é explicado pela consideração de que 1m³ de briquetes contém pelo menos quatro vezes mais energia que 1m³ de resíduos em sua forma original, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico médio destes materiais (Quirino & Brito, 1991).

Em relação à utilização do briquete para queima a forma de partida é a mesma utilizada pelo sistema da lenha, não necessitando de nenhum equipamento especial para substituí-la. A combustão do briquete é mais rápida e a temperatura durante a queima é estável em relação à da lenha. (Costa & Moraes, 2011).

Assim, o briquete compete diretamente com a lenha, obtendo vantagens em vários pontos em relação as suas características, principalmente aos efeitos do seu uso sobre o meio ambiente, pois é composto apenas por resíduos. Além de possuir um poder calorífico mais alto, umidade mais baixa e baixo volume de cinzas, fuligem e fumaça (LPF/IBAMA, 2011 apud Costa e Moraes, 2011).

Outras vantagens do briquete tornam o mesmo atraente ao mercado, segundo Vale e Gentil (2008), em comparação com a lenha, o briquete possui maior densidade energética, maior rapidez na geração de temperatura e calor, proporciona redução dos custos de transporte, menor custo de manuseio, infraestrutura de armazenamento, movimentação, mão-de-obra, encargos sociais, e maior apelo ambiental por ser produzido a partir de resíduos.

Dentre as principais vantagens dos briquetes, conforme Abreu (2005), estão:

- Menor manutenção regular em grelhas e fornalhas;

- Menor custo direto e indireto;
- Podem ser usados em caldeiras, lareiras, padarias, pizzarias, cerâmicas;
- Devido a baixa umidade a temperatura se eleva rapidamente;
- Não danifica a fornalha no manuseio de abastecimento;
- Produto 100% reciclado e ecológico;
- Maior higiene e melhor aparência, ideal para a indústria alimentícia;
- Formato geométrico facilita o transporte, manipulação e armazenamento.

3.3.3. COMPARAÇÃO: BRIQUETE X LENHA

A utilização do briquete ainda não faz parte da cultura brasileira, sendo esta a principal barreira à sua inserção no mercado. À medida que o briquete e, principalmente, suas vantagens em relação à lenha e o carvão vegetal, forem mais conhecidas pela população brasileira, certamente ocorrerá grande crescimento da demanda por este produto (LIPPEL, Nd).

Segundo Quirino & Brito (1991) os briquetes possuem no mínimo cinco vezes mais energia que os resíduos de madeira, além de ter um poder calorífico superior até ao da lenha, para ele a briquetagem é um processo vantajoso em relação ao armazenamento de material, pois ocorre uma grande redução de volume do material, ou seja, um armazenamento de energia maior em um menor espaço para estocagem.

A Tabela 2 apresenta o comparativo entre briquete e lenha.

Tabela 2 - Comparativo Briquete x Lenha.

BRIQUETE	LENHA
Alto Poder Calorífico	Baixa Temperatura da Chama
Armazenagem Racional Peletizada	Grandes Áreas para Armazenamento
Redução da Mão de Obra no Manuseio	Maior Mão de Obra
Redução de Volume na Estocagem e no Transporte	Sujeita no Local de Estocagem e no Transporte
Menos Poluição com mais Energia	Grande Quantidade de Cinzas
Maior Temperatura da Chama	Quebras de Partes Internas da Fornalha
Insento de Licenças Especiais	Licenças Especiais
Baixo Teor de Cinzas	Baixa Uniformidade de Calor

Fonte: Adaptado MARCHIORI (2006).

Silveira e Lopes (2010) citam que a principal característica dos briquetes é ter volume menor do que os resíduos originais, é reciclável, tem o mesmo poder calorífico e durabilidade de três vezes superior a da lenha, ter formato homogêneo e tamanho programado facilitando assim o transporte e manuseio.

O Quadro 1 apresenta as principais vantagens do briquete sobre a lenha.

Quadro 1 - Principais Vantagens do Briquete Sobre a Lenha.

	LENHA	BRIQUETE
PODER CALORÍFICO	Baixo: 1700 – 2500 kcal/kg	Alto: 4000 – 4800 kcal/kg
UMIDADE	Alta: 20 a 45%	Baixa: 8 a 12%
RENDIMENTO	Irregularidade térmica, baixa uniformidade e temperatura de chama	Regularidade térmica, alta uniformidade e temperatura de chama
RESÍDUOS DE CINZA, FULIGEM, FUMAÇA	Alto volume	Baixo volume
MANUSEIO, MÃO DE OBRA	Dificuldade por não existir uniformidade, trabalhoso	Facilidade por ter forma e embalagem padronizada
ESPAÇO FÍSICO – ARMAZENAMENTO	Ocupação de grande espaço	Ocupa pequeno espaço
HIGIENE, LIMPEZA	Sujeita, umidade, bichos, contaminação	Limpo, seco, sem bichos e contaminação
LICENÇA AMBIENTAL	Necessidade de licenciamento e guia de transporte ATPF/RET do IBAMA, com taxas a pagar	Dispensado de guia de transporte e fiscalização. Sem Custos
COMERCIALIZAÇÃO	Por m ³ (Impreciso)	Por Peso (Exato)

Fonte: CAIRES, R. R., 2010.

São inúmeras as vantagens do briquete sobre a lenha, como apresentado no Quadro 1. De acordo com Caires (2010), os briquetes apresentam poder calorífico duas vezes maior do que o da lenha, com espaço de armazenagem reduzido, possibilitado a manutenção de estoques reguladores e de emergência. A briquetagem utiliza resíduos após a moagem, por isso, este processo pode ser desenvolvido utilizando diversos tipos de resíduos agrícolas, industriais e urbanos. Em princípio, todos os tipos de resíduos agro-industriais ligno-celulósicos podem ser utilizados para fabricar briquetes.

Comparado à lenha, o briquete apresenta muitas vantagens. O seu poder calorífico e o baixo teor de umidade (10 a 12%) o farão sempre superar a lenha (25 a 35% de teor de umidade). Tanto pela maior densidade como pelo maior poder calorífico ter-se-á na estocagem sempre mais energia por unidade de volume, reduzindo-se pátios de estocagem a dimensão de equipamentos de queima. (Quirino, 2000).

A Tabela 3 apresenta o comparativo do consumo mensal do briquete com o da lenha.

Tabela 3 - Comparação do Consumo Mensal do Briquete x Lenha

	CONSUMO MENSAL DE BRIQUETES	CONSUMO MENSAL DE LENHA
Fogões a Lenha	1,0 ton	7 m ³
Lareiras Médias	1,0 ton	7 m ³
Padarias - Forninho	1,5 ton	11 m ³
Pizzarias - Forno 6 Pizzas	2,0 ton	14 m ³
Caldeiras 2tn k/hr	15 ton	105 m ³
Caldeiras 4tn k/hr	30 ton	210 m ³
Densidade	1 a 1,5 ton/m ³ (Costa e Moraes, 2011)	0,4 ton/m ³ (Borlini et al.,2005)

Fonte: Adaptado MARCHIORI, 2006.

Sendo assim, para Machiori (2006), toda empresa que possuir um forno ou uma caldeira na qual possa ser utilizada lenha é um cliente potencial para utilizar o briquete, como por exemplo, padarias, pizzarias, lareiras, caldeiras e churrascarias.

De acordo com o Centro Nacional de Referência em Biomassa, CEMBIO (2009), em algumas capitais e grandes cidades, o briquete já possui um papel destacado, competindo diretamente com a lenha e o carvão vegetal. Na cidade de São Paulo, onde existem cerca de 5.000 pizzarias e 8.000 padarias, das quais 70% utilizam fornos à lenha, os fabricantes de briquetes não conseguem atender a demanda na cidade.

3.4. O PROCESSO DE BRIQUETAGEM

De acordo com Silva (2007), para que haja uma eficácia na compactação é imprescindível que a matéria-prima passe por algumas etapas. De acordo com o tipo de material, é facultativo picar, peneirar, secar, moer, etc. Cada uma dessas pode vir a encarecer a implantação e a operação (Ginâni, 2013).

Moro (1987), definiu sete etapas para o processo de briquetagem, sendo elas:

- **Escolha do material:** esta etapa refere-se ao tipo de matéria prima que se deseja utilizar, do tipo de briquete que se pretende produzir e das características do material a ser utilizado (tamanho de partículas, densidade e umidade);
- **Secagem:** tem por finalidade retirar a umidade dos resíduos, a fim de deixar o material com a umidade necessária para a realização do processo;
- **Moagem dos resíduos:** tem por objetivo triturar os resíduos, formando partículas menores. Desse modo facilitando o processo e a ação de aglutinantes se estes forem necessários;
- **Peneiramento:** promove a separação das partículas geradas na moagem em granulometrias diferentes, tendo por finalidade uma seleção das partículas a serem utilizadas, e eliminação das indesejadas no processo;

- **Mistura com aglutinante:** o aglutinante é responsável pela aderência dos resíduos. Durante esta etapa deve-se levar em consideração a escolha do tipo e da qualidade do aglutinante, pois estas estão diretamente relacionadas ao custo do processo. Esta etapa nem sempre ocorre, pois alguns resíduos são capazes de se aglutinar apenas com a plastificação da lignina em ambiente de alta pressão e temperatura;
- **Prensagem:** a prensagem proporciona resistência aos briquetes. É realizada por meio da ação de prensas que aplicam altas pressões e temperaturas a massa de resíduos e ao ligante. Esta etapa define a forma final do briquete, de acordo com a presa utilizada;
- **Estocagem e embalagem:** os briquetes devem ser armazenados em silos de estocagem a fim de manter um estoque intermediário entre a produção e a distribuição. Posteriormente são embalados para o consumo.

Ginâni (2013) cita que para secagem do material deve-se levar em consideração alguns parâmetros tais como, densidade, granulometria, umidade.

Costa e Moraes (2011) citam que as principais características do briquete, segundo dados da Lippel, são: Poder Calorífico Superior de 4000 a 4800 kcal/kg como apresentado na Tabela 3 por Caires (2010); Densidade Aparente de 1,0 a 1,5t/m³; Densidade a Granel de 600 a 900 kg/m³; Materiais Voláteis 81%; Cinzas 1,2% e; Carbono fixo 18,8%.

Para Silva (2007 apud Ginâni, 2013), são inúmeras as variáveis que podem afetar a compactação dos resíduos. Nesse sentido, têm-se as propriedades do próprio resíduo, tais como tamanho, umidade e a densidade; bem como as variáveis do processo pelo qual esse material é submetido, especialmente, pressão e temperatura.

Dentre os fatores que afetam a produção do briquete estão:

- Massa específica
- Tamanho das Partículas
- Teor de Umidade
- Teor de Voláteis

- Teor de Cinzas
- Carbono Fixo

3.4.1. MASSA ESPECÍFICA

O conceito físico de densidade é a quantidade de massa contida na unidade de volume, segundo Besley (1966 apud Borghi, 2012).

Para Rodrigues (2010), a briquetagem reduz o volume de matéria-prima, característica importantíssima para matérias que apresentam baixa densidade. Todavia, para densificar esse tipo de material requer uma maior demanda de energia no processo e, materiais que apresentam alta densidade, não teriam muito interesse pelo fato do pouco ganho de densificação. Uma solução interessante, tendo em vista estes tipos de materiais com densidades diferentes, seria fabricar briquetes através da mistura destes resíduos.

Segundo dados da Bricarbras (ND), a densidade do briquete é de 1,10 ton/m³.

Segundo Fontes (1984), o efeito de densificação proporcionado pela briquetagem, como citado anteriormente, produz um combustível com maior concentração energética por unidade de volume, que, aliado à resistência adquirida, torna a técnica economicamente viável e possibilita o transporte a distâncias maiores.

3.4.2. TEOR DE UMIDADE

Teor de umidade pode ser definido como a massa de água contida na biomassa e pode ser expressa tanto na base úmida quanto na base seca, qual pode ser avaliada pela diferença entre os pesos de uma amostra, antes e logo após ser submetida à secagem (NOGUEIRA, 2003 apud VIEIRA, 2012).

Quirino et al. (2004) cita que segundo Earl (1975) é importante que o teor de umidade da madeira a ser usada como combustível seja reduzido, diminuindo assim o manejo e o custo de transporte, agregando valor ao combustível.

Segundo Carvalho e Brinck (2004) para que os briquetes não apresentem fraturas pela expansão dos gases é necessário que a matéria-prima usada para sua confecção esteja seca. Para que haja uma aglomeração das partículas é imprescindível que a umidade esteja numa faixa entre 8 e 15%.

Segundo Rodrigues (2010) os briquetes que apresentam um teor de umidade acima de 15% podem ter sua eficiência de queima comprometida pelo fato da relação entre poder calorífico e umidade. Ou seja, se o resíduo estiver acima da umidade ideal ou muito seco isso comprometerá o briquete, deixando-o sem estabilidade.

3.4.3. TAMANHO DAS PARTÍCULAS E BRIQUETE

De acordo com Silva (2007), os resíduos que tem dimensões pequenas podem ser aplicados diretamente no processo de briquetagem. Entretanto, os que apresentam dimensões maiores precisam passar por um processo de redução de tamanho de modo a facilitar a compactação.

Segundo Ginâni (2013), quanto menor o tamanho melhor será a compactação. Partículas com dimensões pequenas são interessantes pelo fato de abranger uma área maior de superfície e conseqüentemente, promovendo, uma melhor interação. Kaliyan e Morey (2009 apud Borghi, 2012) afirmam que o tamanho das partículas influencia na durabilidade e resistência dos briquetes, por isso, é importante que seja feito a classificação granulométrica da biomassa antes da compactação, pois as partículas menores facilitam a união das mesmas, diminuindo os espaços vazios entre as partículas.

O tamanho da partícula deve estar entre 5 e 10 mm de acordo com LIPPEL (ND) e diâmetro ideal dos briquetes para a queima em caldeiras e

fornos em geral está entre 83 mm e 93 mm e comprimento entre 250 e 400mm. Diâmetro de 63 mm são bem aceitos em estufas, fogões com alimentação automática, grelhas, churrasqueiras etc.

3.4.4. TEOR DE VOLÁTEIS

Segundo McKendry (2002) o teor de voláteis é a parte da biomassa que evapora por aquecimento, incluindo a umidade. Para Lewandowski (1997) citado por Klautau (2008), o teor de voláteis expressa a facilidade de se queimar um material e é obtido medindo a fração de massa que volatiliza durante o aquecimento de uma amostra padronizada e previamente seca, em atmosfera inerte. Assim, o conteúdo de voláteis é uma medida da reatividade do combustível, quanto maior o teor de voláteis, maior a reatividade e mais rápida é a ignição.

3.4.5. TEOR DE CINZAS

Para Carvalho (2010) o teor de cinzas é a fração que permanece como resíduo após a combustão do carvão vegetal, varia de 0,5% a mais de 5%, dependendo da espécie de combustível sólido e da quantidade de materiais inorgânicos da amostra, evidentemente não combustíveis. Um bom combustível sólido deve ter um conteúdo de cinzas inferior a 3%.

O teor de cinza é a quantidade de resíduo inorgânico que permanece após a queima da matéria orgânica, que é transformada em energia, gás carbônico e água (Barros, 2012).

Strehler (2000) citado por Klautau (2008) afirma que as cinzas da biomassa em alta concentração podem diminuir o poder calorífico, e também causar perda de energia. A presença de resíduos prejudica a transferência de calor.

3.4.6. TEOR DE CARBONO FIXO

O teor de carbono fixo (CF) representa a massa restante após a libertação de compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de umidade (MCKENDRY, 2002 apud Vieira, 2012).

3.4.7. ANÁLISE ELEMENTAR

A análise elementar é um ensaio realizado para determinação da composição química, e com isso, o poder calorífico superior (PC) dos combustíveis pode ser obtido.

Segundo Cortez; Lora; Gomes (2003) citado Klautau (2008), o ensaio fornece os percentuais mássicos dos elementos, carbono "C", hidrogênio "H", oxigênio "O", nitrogênio "N", enxofre "S" e cinzas "Z" contidos na amostra da biomassa combustível.

A análise Elementar também fornece a razão entre as populações de átomos de hidrogênio/carbono e oxigênio/carbono. Essas relações permitem o cálculo do Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI), pois existe correlação entre o PCS e as razões H/C e O/C. Além disso, conhecendo-se a relação H/C é possível calcular o PCI (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008 apud Vieira, 2012).

McKendry (2002) afirma que quanto maior a proporção de oxigênio e hidrogênio, em comparação com o carbono, menor será o valor energético de um combustível, devido a menor energia contida em carbono (C) – oxigênio (O) e carbono (C) – hidrogênio (H), que em ligações carbono (C) – carbono (C).

3.4.8. PODER CALORÍFICO

Poder calorífico segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT:

“[...] é uma propriedade importante na avaliação de um combustível sólido e consiste na quantidade de calor liberadas na combustão completa de uma unidade de massa do material combustível, expressa em cal/g ou kcal/kg. O poder calorífico é chamado superior (PCS) quando a água proveniente da queima está presente em estado líquido” (ABNT, 1983 apud MAROZZI, 2012).

O poder calorífico superior (PCS), segundo Van Wylen (1998) citado por Klautau (2008), é a quantidade de calor liberada durante a combustão com a água na forma condensada, enquanto o poder calorífico inferior (PCI) se refere a quantidade de calor liberada durante a combustão com a água sob a condição de vapor. Quanto maior a umidade do combustível, menor será o seu poder calorífico inferior.

Para Rodrigues (2010), existem várias características das partículas que podem comprometer o poder calorífico, tais como, teor de umidade, composição elementar, teor de cinzas, entre outras.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. COLETA E PREPARO DE MATERIAL

Foram coletados 5 recipientes de 50 litros de resíduo agrícola em uma empresa de pellets e mais dois recipientes de 50 litros de maravalha

proveniente de uma madeireira. Dentre os resíduos agrícolas havia grãos de soja, milho, sabugo, palha, quirela, aveia, trigo, vagem, casca de amendoim e de feijão; os mesmos já estavam triturados, e a maravalha foi peneirada para homogeneizar o material.

Os materiais coletados foram levados ao laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus Londrina-PR, onde os ensaios foram realizados.

4.2. MASSA ESPECÍFICA DOS RESÍDUOS

Como base no que foi realizado por Marozzi (2012), no presente trabalho, a densidade a granel dos diferentes resíduos foi determinada através da alocação dos resíduos em um recipiente, neste caso, um balde de massa 0,012 kg com capacidade de 10 litros, para que em seguida fosse realizada a diferença da massa total (balde + material) com a massa do recipiente (balde vazio) para se obter a massa da amostra, assim, para a determinação da massa específica foi utilizada a relação entre massa de material e volume do recipiente.

$$\mathbf{Massa\ do\ Material = Massa\ Total\ (balde + material) - Massa\ do\ Balde}$$

Eq 1

$$\mathbf{Massa\ Específica = \frac{Massa\ do\ Material}{Volume\ do\ Balde}}$$

Eq 2

Tal procedimento será realizado em triplicada para cada um dos sete recipientes de resíduos.

4.3. TEOR DE UMIDADE

Como foram coletados um total de sete recipientes de 50L de resíduos, sendo cinco destes recipientes com resíduos agrícolas triturados e os outros dois contendo maravalha, a fim de garantir uma homogeneidade entre os resíduos presentes em cada recipiente, retirou-se com o auxílio de um recipiente, uma parcela de resíduos da parte superior, uma parcela do meio e outra da parte mais profunda do recipiente, estes resíduos coletados foram revoltos manualmente, e o procedimento se repetiu para cada um dos sacos, com o objetivo de se obter uma amostra mais representativa, mais homogeneizada. Assim, foram realizados teste de umidade em triplicada para cada amostra.

Foram necessários 21 cadinhos que foram primeiramente lavados e levados à estufa à temperatura de 120°C durante um dia. No outro dia, retiraram-se os cadinhos da estufa para pesagem e em seguida os resíduos foram adicionados até quase completar a capacidade do cadinho, e em seguida, foram pesados novamente. Os cadinhos com as amostras foram para a estufa a temperatura de 120°C por um período de 48 horas, e após o resfriamento, os cadinhos foram pesados novamente.

A Figura 4 apresenta os cadinhos com os resíduos:



Figura 4 - Cadinhos com amostras de resíduos.
Fonte: Própria, 2016.

Para conhecer a umidade foram realizados os seguintes cálculos:

$$\textit{Perda de Peso} = \textit{Peso Inicial} - \textit{Peso Final}$$

Eq 3

$$\textit{Umidade} = \frac{\textit{Perda de Peso} * 100}{\textit{Peso inicial}}$$

Eq 4

4.4. ENSAIO DE GRANULOMETRIA

O teste de granulometria foi empregado para determinar a faixa de tamanho das partículas presentes no resíduo utilizado, expresso como uma porcentagem do peso total seco. Para isso, o ensaio de peneiramento foi

realizado no laboratório de solos da UTFPR, foram realizados um total de 7 testes com as amostras contidas nos 21 cadinhos que estavam na estufa após o teste de umidade.

Assim, os resíduos de cada recipiente, distribuído em 3 cadinhos, eram colocados em um bécker para pesagem total e em seguida, eram colocados na coluna de peneiras montadas para a realização do experimento.

A Figura 5 apresenta a disposição das peneiras para realização do ensaio:



Figura 5 - Peneiras para ensaio de granulometria.
Fonte: Própria, 2016.

A coluna de peneiras foi montada da seguinte forma, as grades maiores foram colocadas na parte superior e as grades menores na parte inferior, em ordem decrescente, conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Ordem das Peneiras para Ensaio de Granulometria.

Peneiras (malha)	Peneiras (mm)	Peso Peneiras (g)
3/8 pol	0,0095	430,2
Nº 4	0,00475	387,83
Nº 10	0,002	362,62
Nº 16	0,00118	357,21
Nº 30	0,6	255,96
Nº 40	0,425	266,6
Nº 50	0,3	248,43
Nº 100	0,15	322,1
Nº 200	0,075	370,53
BASE	-	299,43

Para a maravalha foram utilizadas as 9 peneiras, exceto a base, por apresentar maior granulometria, enquanto que para o resíduo agrícola a peneira de 3/8 pol foi retirada do ensaio por apresentar grades maiores que não eram capazes de reter o resíduo agrícola, assim, a base foi inserida para os ensaios com este resíduo.

A vibração das peneiras foi regulada para nível 10 com um tempo de duração de 15 minutos, aplicado tanto para os ensaios com maravalha quanto para ensaios com os resíduos agrícolas.

O material retido em cada peneira passou por pesagem e foi retirado e armazenado em copos plásticos isolados com papel filme, para evitar a entrada de umidade.

A Figura 6 apresenta os copos plásticos com as amostras obtidas do ensaio de peneiramento:



Figura 6 - Amostras obtidas do ensaio de peneiramento.

Fonte: Própria, 2016.

4.5. TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS

Com as amostras que foram armazenadas nos copos plásticos, pode-se retirar uma amostra mais representativa dos resíduos para realizar as análises no laboratório.

Para determinar o teor de sólidos voláteis foi utilizado um total de 1g de resíduos, porém essa amostra foi obtida de acordo com o percentual granulométrico para cada tipo de resíduo, assim, uma determinada porcentagem de cada copo foi pesada na balança para obter 1g de resíduos que posteriormente foram colocadas em cadinhos de porcelana previamente calcinados na mufla a uma temperatura de 550°C durante um período de 3 horas e pesados em balança de alta precisão. O forno mufla utilizado foi do modelo Marconi MA 385, conforme Figura 7.



Figura 7 - Forno Mufla modelo Marconi MA 385.

Fonte: Própria, 2016.

Assim, com 1g de amostra de resíduos provenientes de cada um dos sete recipientes, as análises foram feitas em triplicata. Os cadinhos com resíduos foram colocados na mufla e o ensaio iniciou-se com uma temperatura de 150°C por 20 minutos. O controle de aquecimento foi feito em oito diferentes marchas de carbonização conforme a Quadro 3.

Quadro 3 - Marchas de Carbonização para o Ensaio de Materiais Voláteis.

Temperatura (°C)	150	200	250	300	350	400	450	500
Tempo (min)	20	20	20	20	20	20	20	20

As amostras foram retiradas da mufla e permaneceram no dessecador até resfriar e em seguida os cadinhos com as amostras foram pesados.

O teor de materiais voláteis foi determinado segundo a Equação 5:

$$MV (\%) = (M1 - M2) * 100/M$$

Eq 5

Onde,

MV = Materiais Voláteis (%)

M1 = Massa inicial do cadinho + resíduo (g)

M2 = Massa final do cadinho + resíduo (g)

M = Massa da amostra do resíduo (g)

4.6. TEOR DE CINZAS

O teor de cinzas dos resíduos foi determinado utilizando os cadinhos com as amostras provenientes do ensaio de sólidos voláteis, os mesmos foram conduzidos para mufla a 750°C por ± 4 horas, para que queimassem completamente.

Após esse procedimento, as amostras foram retiradas da mufla e alocadas em um dessecador para o resfriamento e em seguida a pesagem, e determinação do teor de cinzas.

4.7. TEOR DE CARBONO FIXO

O teor de carbono fixo foi obtido por diferença através da equação 6.

$$TCF = 100 - (Tv + Tc)$$

Eq 6

Onde,

TCF = teor de carbono fixo;

Tv = teor de voláteis (%);

Tc = teor de cinzas (%).

4.8. ANÁLISE ELEMENTAR

Para a análise elementar, uma amostra de cada recipiente de resíduos foi enviada ao Laboratório de Recursos Analíticos e de Calibração da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), para determinação dos teores de carbono, hidrogênio, nitrogênio e enxofre presentes na amostra. Foram utilizadas 100 gramas de amostras de cada recipiente para realização das análises, estas foram realizadas em duplicata.

Os equipamentos utilizados foram: o Analisador Elementar de Carbono, Nitrogênio, Hidrogênio e Enxofre, da marca Elementar, modelo Vario MACRO Cube, e a balança microanalítica Mettler Toledo, modelo MX5. A temperatura do tubo de combustão foi de 1150 °C.

Com os resultados obtidos foi possível calcular o poder calorífico inferior e superior dos resíduos.

4.9. PRODUÇÃO DOS BRIQUETES

Para a produção dos briquetes, 3 parâmetros foram considerados: a carga aplicada na compactação dos resíduos, a quantidade de maravalha inserida e a compressibilidade dos resíduos.

O efeito da aplicação de diferentes cargas de compressão e composição de maravalha na produção de briquetes foi estudado através do modelo estatístico Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).

O DCCR é utilizado quando se pretende verificar a curvatura de um plano, quando se pretende verificar a presença de termos quadráticos no modelo de regressão.

“A necessidade de otimização de produtos e processos, minimizando custos e tempos operacionais têm levado a uma enorme busca por técnicas sistemáticas de planejamento de experimentos. A metodologia do planejamento composto central rotacional (DCCR) consiste em um grupo de procedimentos, estatísticos e matemáticos, que podem ser usados no estudo das inter-relações entre uma ou mais respostas (variáveis dependentes) com inúmeros fatores (variáveis independentes). É uma técnica estatística baseada no emprego de planejamentos fatoriais, introduzida na década de 50, que, desde então, tem sido usada com grande sucesso na modelagem de diversos processos industriais.” (Barros Neto et al., 1996 apud Mattietto e Matta, 2012).

Com isso, foram realizados um total de 11 ensaios, cada ensaio para a produção do briquete levou em torno de 40 minutos para ser realizado.

A Quadro 4 apresenta os parâmetros de cada ensaio.

Quadro 4 - Parâmetros dos Ensaio de Compactação dos Resíduos.

ENSAIO	PARÂMETROS		CARGA (ton)	% VOLUME DE MARAVALHA	COMPRESSIBILIDA DE (%)	TAMANHO BRIQUETE (cm)
1	0	0	3,5	17,5	72,4	13,8
2	0	0	3,5	17,5	86,19	13,8
3	0	0	3,5	17,5	72,50	13,2
4	0	1,41	3,5	30	72,67	12,3
5	1	1	5,27	26,36	71,91	12,5
6	1,41	0	6	17,5	76,2	11,9
7	1	-1	5,27	8,63	69,05	13
8	0	-1,41	3,5	5	62,13	17,8
9	-1	-1	1,73	8,63	59,76	16,9
10	-1,41	0	1	17,5	62,6	18,7
11	-1	1	1,73	26,36	60,9	17,4

A porcentagem de variação de resíduo de maravalha na produção dos briquetes foi feita de forma volumétrica.

Assim, os onze briquetes produzidos tinham formato cilíndrico e a compressibilidade dos resíduos foi medida em cada ensaio.

Os briquetes foram confeccionados com o auxílio de uma prensa hidráulica da marca Skay com capacidade de 30 toneladas, do laboratório de ensaios de materiais da própria universidade. E após o ensaio a compressibilidade dos resíduos foi medida juntamente com o comprimento final dos briquetes produzidos.

A Figura 8 apresenta a prensa utilizada para a confecção dos briquetes.



Figura 8 - Prensa hidráulica da marca Skay com capacidade de 30 toneladas, 2016.

Fonte: Própria, 2016.

4.10. PODER CALORÍFICO

Segundo SILVA (1988 apud Oliveira, 2014), o poder calorífico pode ser determinado pela equação:

$$PCS = 33774 * PC + 141744 * \left(PH2 - \frac{PO2}{8} \right) + PS$$

Eq 7

Onde,

PCS = poder calorífico superior, kJ.kg⁻¹ ;

PC = fração de carbono, kg de C. kg de combustível⁻¹ ;

PH2 = fração de hidrogênio, kg de H2.kg de combustível⁻¹ ;

PO2 = fração de oxigênio, kg de O2. kg de combustível⁻¹ ; e

PS = fração de enxofre, kg de S. kg de combustível⁻¹.

Segundo Nascimento (2006) a partir do poder calorífico superior (PCS), desconta-se a energia gasta para evaporação da água, devido à vaporização do hidrogênio, presente no combustível, e obtém-se o poder calorífico inferior (PCI). O poder calorífico inferior (PCI) do combustível seco pode ser calculado por meio da Equação 8, conhecida como fórmula de Dulong (Silva, 1988 apud Oliveira, 2014):

$$PCI = PCS - 2450 * (9PH2)$$

Eq 8

Onde:

PCS = Poder Calorífico Superior em Kcal/Kg

PH2 = fração de hidrogênio no combustível, kg de H2.kg de combustível⁻¹.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram apresentados segundo os itens:

5.1. MASSA ESPECÍFICA

O Quadro 5 apresenta os valores de massa específica obtidos:

Quadro 5 - Massa específica dos resíduos

RESÍDUO	ORIGEM RECIPIENTE	MASSA ESPECÍFICA (ton/m ³)	MÉDIA (ton/m ³)
		0,3208	0,313
AGRÍCOLA	A1	0,3046	
		0,3148	
		0,3264	0,321
AGRÍCOLA	A2	0,3226	
		0,3158	
		0,3272	0,334
AGRÍCOLA	A3	0,3382	
		0,3388	
		0,3828	0,350
AGRÍCOLA	A4	0,3368	
		0,332	
		0,3107	0,326
AGRÍCOLA	A5	0,331	
		0,3366	
		0,119	0,120
MARVALHA	P1	0,1216	
		0,1202	
		0,0556	0,058
MARVALHA	P2	0,06	
		0,0592	

A massa específica média dos cinco recipientes de resíduos agrícolas foi de 0,329 ton/m³ e a massa específica média dos dois sacos de maravalha foi de 0,089 ton/m³.

Ambos resíduos apresentam valores de massa específica inferior ao de um briquete, que seria de 1,1 ton/m³, segundo dados da Bricarbras (ND). Segundo Quirino (2000), quanto menor for a densidade a granel do resíduo, maior será o aumento do poder calorífico durante a compactação dos resíduos, assim, a biomassa é considerada adequada para a produção de briquetes neste quesito.

5.2. TEOR DE UMIDADE

A umidade dos resíduos foi medida e apresentada no Quadro 6.

Quadro 6 - Umidade dos Resíduos.

RESÍDUO	RECIPIENTE	MASSA INICIAL (g)	MASSA FINAL (g)	PERDA DE MASSA (g)	UMIDADE (%)
		12,6772	11,0625	1,6147	12,737
AGRÍCOLA	A1	10,4548	9,1086	1,3462	12,876
		12,693	11,0745	1,6185	12,751
		14,0684	12,2694	1,799	12,787
AGRÍCOLA	A2	13,8855	12,1083	1,7772	12,798
		14,114	12,3275	1,7865	12,657
		10,1579	8,838	1,3199	12,993
AGRÍCOLA	A3	11,263	9,8187	1,4443	12,823
		11,0682	9,6632	1,405	12,694
		17,402	15,2217	2,1803	12,529
AGRÍCOLA	A4	14,0184	12,275	1,7434	12,436
		14,2688	12,4832	1,7856	12,514
		12,5552	11,0144	1,5408	12,272
AGRÍCOLA	A5	11,0748	9,6918	1,383	12,487
		12,2799	10,7702	1,5097	12,294
		3,5075	2,904	0,6035	17,205
MARAVALHA	P1	3,8607	3,1991	0,6616	17,136
		2,4799	1,9267	0,5532	22,307
		1,7174	1,4145	0,3029	17,637
MARAVALHA	P2	1,8973	1,5698	0,3275	17,261
		1,7763	1,4687	0,3076	17,316

Assim, a Quadro 7 apresenta a umidade média final dos resíduos provenientes de cada recipiente:

Quadro 7 - Umidade Média Final dos Resíduos.

RESÍDUO	RECIPIENTE	UMIDADE MÉDIA (%)	DESVIO PADRÃO
AGRÍCOLA	A1	12,788	0,076
AGRÍCOLA	A2	12,748	0,078
AGRÍCOLA	A3	12,837	0,150
AGRÍCOLA	A4	12,493	0,049
AGRÍCOLA	A5	12,351	0,118
MARAVALHA	P1	18,883	2,965
MARAVALHA	P2	17,405	0,202

A umidade média entre os cinco recipientes de resíduos agrícolas apresentou um valor de 12,642 %, enquanto que para os dois recipientes de maravalha a umidade média foi de 18,144 %.

Menezes (2013) determinou a umidade média de resíduos de maravalha em torno de 11,34 % para a maravalha proveniente da *A. angustifolia* e 11,30 % para a maravalha proveniente de *Pinus* sp. Valores médios de teor de umidade de 16,12 % foram encontrados por Calegari et al. (2005) analisando a maravalha de *Pinus* spp. A maravalha utilizada no presente trabalho apresentou umidade média acima do referenciado, isso pode estar relacionado ao tipo de madeira utilizada nas serraria, os resíduos foram coletados já se encontravam misturados.

De acordo com Carvalho e Brink (2004), para que haja aglomeração das partículas a umidade deve estar entre 8 e 15%, sendo assim, a umidade do resíduo agrícola está de acordo com o proposto, enquanto a maravalha apresentou valor de umidade um pouco superior ao valor limite de 15 %. Sendo assim, a umidade da maravalha pode comprometer na eficiência de queima do briquete, pois quanto maior a umidade, menor o poder calorífico.

5.3. TEOR DE VOLÁTEIS, CINZAS E CARBONO FIXO.

O Quadro 8 apresenta o valor médio entre os três valores obtidos para os resíduos de cada recipiente e seus desvios padrão.

Quadro 8 - Valores médios de voláteis, cinzas e carbono fixo dos resíduos com desvio padrão.

RESÍDUO	RECIPIENTE	VOLÁTEIS(%)	CINZAS(%)	CARBONO FIXO(%)
AGRÍCOLA	A1	81,462 ± 0,56	0,014 ± 0,00	18,523 ± 0,56
AGRÍCOLA	A2	73,658 ± 3,72	1,435 ± 2,36	24,906 ± 2,93
AGRÍCOLA	A3	81,928 ± 1,23	0,015 ± 0,00	18,056 ± 1,23
AGRÍCOLA	A4	68,073 ± 15,40	0,027 ± 0,00	31,899 ± 15,40
AGRÍCOLA	A5	79,763 ± 0,26	0,026 ± 0,00	20,210 ± 0,27
MARAVALHA	P1	89,066 ± 0,75	0,005 ± 0,00	10,927 ± 0,76
MARAVALHA	P2	90,645 ± 1,28	0,011 ± 0,00	9,342 ± 1,28

O valor médio de material volátil entre os recipientes de resíduo agrícola (A1 à A5) foi de 76,976 % ± 8,17, enquanto a média entre os recipientes de maravalha foi de 89,856 % ± 1,28.

O Quadro 9 apresenta os valores obtidos por Ramos e Paula (2010) ao analisar os resíduos lignocelulósicos para produção de briquetes.

Quadro 9 - Valores de análise imediata por Ramos e Paula (2010).

MATERIAL		CINZAS (%)	VOLÁTEIS (%)	CARBONO FIXO (%)
Arroz		16,13	66,36	17,3
Café	Caule	1,12	80,39	19,33
	Pergaminho	1,46	79,14	19,9
Cana	Bagaço	0,8	82,31	17,16
	Palha	4,32	78,64	17,46
Feijão	Caule	4,61	77,53	18,75
	Vagem	6,65	76,65	18,1
Milho	Caule	3,43	76,82	20,47
	Folha	3,53	78,3	18,43
	Palha	1,58	81,68	17,05
	Sabugo	1,16	81,31	18,32
Soja	Caule	2,28	80,59	18,06
	Vagem	7,25	76,61	18,24
Maravalha		0,13	83,19	16,66

Baseado em AROLA (1976 apud CHAVES et al., 2013), os teores de material volátil para biomassa são de 75 a 85%, assim, o resíduo agrícola encontra-se dentro da faixa referenciada, enquanto a maravalha apresenta um teor de material volátil um pouco acima do referenciado, assim, a maravalha apresenta maior reatividade em comparação ao resíduo agrícola. Vale et al. (2007) encontrou valores de 83,19 % de material volátil para a maravalha de cedrorana, igualmente encontrado por Ramos e Paula (2010). Os resíduos agrícolas foram analisados por Ramos e Paula (2010) de forma separada, não sendo possível comparar com as análises obtidas no presente trabalho para resíduo agrícola, pois os mesmos já se encontravam misturados no momento da coleta.

Quanto maior o teor de voláteis maior será a reatividade e conseqüentemente, a ignição. Enfim, este parâmetro representa a facilidade com que uma biomassa queima (MOERS *et al.*, 2011 apud MAIA, 2013). A biomassa ao apresentar um alto teor de voláteis tem maior facilidade de incendiar e queimar (VIEIRA, 2012).

O valor médio de teor de cinzas para os resíduos agrícolas foi de 0,304 % \pm 1,07 e para a maravalha foi de 0,008 % \pm 0,004, estando de acordo com a literatura. Para Carvalho (2010), um bom combustível sólido deve ter um conteúdo de cinzas inferior a 3%. Wander (2001 apud Borghi, 2012) citou que raramente as cinzas ultrapassam os 2%. Ramos e Paula (2010) obtiveram valores de 0,18% e 0,13% de teor de cinzas em um estudo realizado com resíduos lignocelulósicos da madeira: serragem e maravalha, respectivamente.

Menezes (2013) encontrou valores médios de cinza de 2,24 % para maravalha proveniente de *A. angustifolia* e 4,42 % para *Pinus sp.* Valores de 0,34 % de cinzas foram encontrados por Vale et al. (2007) para maravalha de cedrorana.

Maia (2013) cita que a quantidade de cinza é um dado importante quando a biomassa for empregada como combustível em caldeiras, pois podem fundir em elevadas temperaturas e provocar incrustações nos equipamentos. A cinza residual é indesejável, pois segundo MOERS *et al.* (2011 apud Maia, 2013), quando em alta concentração, podem diminuir o poder calorífico, e causar perda de energia, além de sua presença afetar no processo de transferência de calor.

Considerando que o ideal após a queima dos briquetes é que haja a menor quantidade de cinzas, e que o valor médio de teor de cinzas da maravalha foi menor do que a média do resíduo agrícola verificou-se que briquetes com maiores porcentagens de maravalha resultam em menor quantidade de cinzas após a queima, ou seja, possuem maior teor de combustíveis em relação aos outros briquetes com menor percentual de maravalha.

O valor médio de teor de carbono fixo foi de 22,719 % \pm 8,06 para resíduo agrícola e 10,135 % \pm 1,28 para a maravalha. Segundo Vale et al. (2007), o teor de carbono fixo não está diretamente relacionado com os teores de material volátil e de cinzas, analisando a maravalha proveniente de cedrorana, obteve valor de carbono fixo de 16,47 %. Ramos e Paula (2010) obtiveram valor de 16,66 % para maravalha.

Os teores de carbono fixo na madeira de acordo com OBERNBERGER e THEK, 2002; WERTHER et al., 2000 citado por CARASCHI et al. (2012), preconizaram, em termos gerais, teores de carbono fixo entre 14% a 25%. Segundo os mesmos, combustíveis que apresentam alto índice de carbono fixo devem ter queima mais lenta, implicando maior tempo de residência destes dentro dos queimadores, em comparação com outros que tenham menor teor de carbono fixo.

Silveira (2008 apud Maia, 2013) afirma que quanto maior o valor de carbono fixo, maior será o calor gerado durante a combustão.

Alguns resultados obtidos neste estudo não podem ser comparados a muitos outros trabalhos, pois o resíduo agrícola utilizado já se encontrava misturado, não sendo possível realizar as análises para cada tipo de cultura que compunha as amostras obtidas, porém na maioria dos trabalhos, os valores de carbono fixo se diferiram de outros, podendo ser explicado pela metodologia adotada ser diferente, pela forma de coleta dos resíduos e pelos mesmos serem de localização geográfica diferente.

5.4. ANÁLISE ELEMENTAR

O Quadro 10 apresenta o resultados obtidos das análises dos resíduos agrícolas e da maravalha.

Quadro 10 - Resultados da Análise Elementar dos Resíduos.

Amostra	Massa Da Amostra (mg)	% Nitrogênio	% Carbono	% Hidrogênio	% Enxofre	% Oxigênio	C/N	C/H
A1	100,043	4,844	50,985	6,346	0,452	37,373	10,526	8,033
	101,020	4,218	51,597	6,378	0,294	37,513	12,232	8,089
A2	100,000	3,050	49,941	6,104	0,241	40,664	16,373	8,181
	100,302	3,572	48,841	5,912	0,251	41,424	13,674	8,260
A3	100,666	2,811	50,004	5,878	0,226	41,081	17,786	8,507
	101,167	3,132	54,431	6,393	0,229	35,815	17,379	8,513
A4	100,552	3,153	54,567	6,372	0,214	35,694	17,305	8,563
	100,053	3,853	52,174	6,125	0,252	37,596	13,539	8,518
A5	100,500	3,884	51,444	6,214	0,247	38,211	13,245	8,278
	100,459	4,317	54,480	6,643	0,285	34,275	12,619	8,201
P1	100,066	0,520	61,727	5,857	0,138	31,759	118,784	10,539
	100,958	0,493	61,706	5,746	0,130	31,924	125,052	10,739
P2	99,963	0,413	60,456	5,831	0,106	33,194	146,271	10,368
	99,426	0,216	61,366	6,205	0,103	32,111	283,923	9,889

No quadro 11 são apresentados os valores médios da análise elementar dos resíduos agrícola e maravalha, seus desvios padrão e a relação C/N e C/H.

Quadro 11 - Valores médios da análise elementar dos resíduos agrícola e maravalha, seus desvios padrão e a relação C/N e C/H.

	% NITROGÊNIO	% CARBONO	% HIDROGÊNIO	% ENXOFRE	% OXIGÊNIO	C/N	C/H
MÉDIA RESÍDUO AGRÍCOLA	3,683	51,846	6,237	0,269	37,965	14,468	8,315
DESVIO PADRAO	0,655	2,059	0,236	0,069	2,429		
MÉDIA DE MARAVALHA	0,411	61,314	5,910	0,119	32,247	168,508	10,384
DESVIO PADRAO	0,853	0,595	0,202	0,017	0,647		

Os teores de nitrogênio, hidrogênio e enxofre estão presentes em maior percentual no resíduo agrícola do que na maravalha, somente o carbono apresenta-se em maior percentual na maravalha.

No quadro 12 são apresentados os resultados da análise elementar dos resíduos estudados por Ramos e Paula (2010).

Quadro 12 - Valores de análise elementar por Ramos e Paula (2010).

MATERIAL		% NITROGÊNIO	% CARBONO	% HIDROGENIO	% ENXOFRE	% OXIGÊNIO	C/H	C/N
Arroz		0,3	39,1	5,8	0,1	54,7	6,7	130,3
Café	Caule	0,5	48,6	6,8	0,1	44	7,2	97,0
	Pergaminho	0,5	47,2	6,9	0,2	45,1	6,8	94,4
Cana	Bagaço	0,5	45,3	6,8	0,3	47,1	6,7	90,6
	Palha	0,3	44,6	6,6	0,4	48,1	6,8	148,7
Feijão	Caule	0,7	44,3	6,6	0,3	48,1	6,7	63,3
	Vagem	0,9	41,8	6,5	0,3	50,5	6,4	46,4
Milho	Caule	0,9	45,6	6,5	0,3	46,8	7,0	50,7
	Folha	0,9	45,4	6,8	0,3	46,5	6,7	50,4
	Palha	0,3	44,8	6,8	0,1	47,9	6,6	149,3
	Sabugo	0,5	45,5	6,7	0,3	47	6,8	91,0
Soja	Caule	0,6	45,7	6,6	0,1	47	6,9	76,2
	Vagem	1,6	42,5	6,5	0,3	49	6,5	26,6
Maravalha		0,1	47,3	6,6	0,2	45,8	7,2	473,0

O menor teor médio de enxofre obtido foi de 0,119 % para a maravalha, próximo do valor de 0,2 % obtido por Ramos e Paula (2010), no qual afirma que a presença de enxofre é indesejável em combustíveis, devido a problemas de corrosão e liberação do gás dióxido de enxofre (SO₂) após a combustão.

Munalula & Meincken (2009) afirmam que o maior teor de nitrogênio está relacionado a impactos ambientais e a poluição do ar, devido à formação de óxidos de nitrogênio e ácido nítrico. Assim, o resíduo agrícola apresentou maior teor médio de nitrogênio (3,683 % ± 0,655) do que a maravalha (0,411 % ± 0,853). Ramos e Paula (2010) obtiveram teor médio de nitrogênio de 0,1 % para maravalha.

Os teores médios de carbono obtidos no presente trabalho foram de 61,314 % ± 0,595 para maravalha e de 51,846 % ± 2,058 para o resíduo agrícola, estando de acordo com Obernberger et al. (2006), o qual afirma que o teor de carbono em combustíveis de madeira é superior ao de herbáceas. Para maravalha foi obtido um valor médio de 47,3 % de carbono nos estudos realizados por Ramos e Paula (2010).

O resíduo agrícola apresentou um teor médio de oxigênio de 37,965 % ± 2,429, enquanto a maravalha apresentou valor de 32,247 % ± 0,647. Ramos e Paula (2010) obtiveram um teor médio de 45,8 % de oxigênio para maravalha.

Segundo Tavares & Amaral (2013), levando em consideração as substâncias que constituem a parede celular de plantas, vale ressaltar que a lignina é rica em carbono e hidrogênio, elementos que produzem calor e portanto têm mais poder calorífico.

A relação C/H foi maior para a maravalha, de 10,384, enquanto o resíduo agrícola apresentou relação C/H de 8,315. Ramos e Paula (2010) obtiveram uma relação C/H de 7,2 para maravalha. Quanto maior for essa relação, maior será a eficiência para produção de energia, pois, segundo Warhurs et al. (1997 apud Ramos e Paula, 2010), o aumento na relação C/H indica um aumento no grau de aromaticidade do material. Maia (2013) afirma que quanto maior a aromaticidade, maior seu potencial de queima, pois quanto maior o estado de redução do carbono, maior será seu potencial de oxidação e, portanto, maior seu poder calorífico.

A relação C/N para maravalha foi de 168,508 e para resíduo agrícola foi de 14,468. Moraes (2008) cita que uma relação C/N alta é um parâmetro desejável para produção energética, pois essa relação se refere normalmente a um material mais fibroso e lignificado. A relação C/N obtida por Ramos e Paula (2010) foi de 473,0 para maravalha.

Borghi (2012) analisando a biomassa constituída de pó de serra, casca triturada, finos da peneira na classificação do cavaco e pó seco, obteve valores médios de nitrogênio, carbono, hidrogênio e enxofre de 0,6, 46, 6 e 0 %, respectivamente. A relação C/N obtida pelo mesmo foi de 77 e a relação C/H de 8. Seye et al. (2003 apud Borghi, 2012) estudando resíduos de madeira, encontraram, na análise elementar resultados para C, H e N de 48,6%, 6,3% e 0,7% respectivamente.

5.5. PODER CALORÍFICO

O poder calorífico superior (PCS) obtido para resíduos agrícola foi de 19624,405 kJ/kg e o poder calorífico inferior (PCI) foi de 18249,147 kJ/kg. Enquanto que para maravalha o valor do PCS foi de 23371,738 kJ/kg e o PCI foi de 22068,58 kJ/kg.

Oliveira (2014) encontrou valor de PCS de 16860 kJ/kg em análises de briquetes mistos. Ramos e Paula (2010) encontrou valores de poder calorífico maiores em seus estudos, como PCS de 17956,514 kJ/kg para maravalha e PCI de 16269,27 kJ/kg, valores semelhantes foram obtidos por Menezes (2013) em maravalha de *A. angustifolia* que apresentou valores de poder calorífico superior e inferior de 17320 kJ/kg e 17000 kJ/kg, respectivamente e para maravalha de *Pinus* sp. obteve um poder calorífico superior e inferior de 17230 e 16910 kJ/kg.

Carvalho (2010) afirma que quanto maior for o PCS, maior será a energia contida no combustível. O PCI é a quantidade de calor necessária para produzir um quilo de combustível, através da combustão deste com o excesso de ar e gases de descarga, resfriados até o ponto de ebulição da água,

evitando sua condensação (Medeiros & Cardoso, 2010 apud Menzes, 2013). Assim, podemos notar que a maravalha apresenta maior poder calorífico em relação aos resíduos agrícolas, ou seja, a maravalha é capaz de produzir maior quantidade de calor durante a combustão.

O Quadro 13 apresenta informações sobre a lenha seca e o carvão de madeira para comparativo com os resultados obtidos no presente estudo com resíduo agrícola e maravalha.

Quadro 13 – Comparativo: Lenha X Carvão X Resíduo Agrícola X Maravalha.

COMBUSTÍVEL	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	CINZAS (%)	kJ/kg	Referência
LENHA SECA	50,3	6	43	-	0,4	20934	Sardinha et al. (2002)
CARVÃO DE MADEIRA	85 - 95	-	-	-	2	31401 - 33494,4	Sardinha et al. (2002)
RESÍDUO AGRÍCOLA	51,8	6,24	38	3,68	0,304	18249,147	Própria
MARAVALHA	61,3	5,91	32,2	0,41	0,009	22068,58	Própria

5.6. CONFECÇÃO DOS BRIQUETES

O resíduo agrícola era colocado no tubo e a porcentagem volumétrica de maravalha a ser acrescentada era medida no mesmo tubo, posteriormente os resíduos eram colocados em um recipiente para mistura.

Durante a mistura dos resíduos agrícola e da maravalha, em alguns ensaios, o volume total era reduzido após a mistura, pois os resíduos se acomodavam devido à diferença de granulometria entre o resíduo agrícola e a maravalha.

Os resíduos misturados eram colocados no tubo para que fosse feita a prensagem dos mesmos. A compressibilidade era medida com o auxílio de uma fita métrica, essa medição foi realizada para cada ensaio.

Pode-se observar a quebra em alguns briquetes devido a remoção ser realizada com atrito lateral ao molde do briquete. Este fator necessita ser considerado no momento de retirada do briquete.

A Figura 8 representa um dos briquetes produzidos a partir de resíduo agrícola e maravalha.



Figura 9 - Briquete produzido em ensaio de compactação.

Fonte: Própria, 2016.

5.7. INFLUÊNCIA DA CARGA E DO VOLUME DE MARAVALHA NOS ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO.

O Quadro 9 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de compressão dos resíduos agrícolas com variação volumétrica de maravalha nas condições operacionais previstas no DCCR.

Quadro 14 - Matriz de Planejamento DCCR com valores codificados e respostas.

Ensaio	Parâmetros		Carga (ton)	Volume de Maravalha (%)	Compressibilidade (cm)	Altura inicial (cm)	Compressibilidade (%)	Tamanho Briquete (cm)
1	0	0	3,5	17,5	36,2	50	72,40	13,8
2	0	0	3,5	17,5	36,2	42	86,19	13,8
3	0	0	3,5	17,5	34,8	48	72,50	13,2
4	0	1,41	3,5	30	32,7	45	72,67	12,3
5	1	1	5,27	26,36	32	44,5	71,91	12,5
6	1,41	0	6	17,5	38,1	50	76,20	11,9
7	1	-1	5,27	8,63	29	42	69,05	13
8	0	-1,41	3,5	5	29,2	47	62,13	17,8
9	-1	-1	1,73	8,63	25,1	42	59,76	16,9
10	-1,41	0	1	17,5	31,3	50	62,60	18,7
11	-1	1	1,73	26,36	27,1	44,5	60,90	17,4

O ensaio 2 apresentou maior porcentagem de compressibilidade, 86,19 %, enquanto o menor valor foi de 59,76 % no ensaio 9. No ensaio 10, o tamanho final do briquete foi maior, 18,7 cm, enquanto que o menor briquete apresentou tamanho final de 11,9 cm para o ensaio 6.

A média dos briquetes produzidos foi de tamanho 14,553 cm \pm 2,508 com a compressibilidade média de 69,66 % \pm 7,920.

O efeito das variáveis independentes (carga e volume de maravalha) sobre o tamanho final do briquete pode ser observado no gráfico de Pareto com intervalo de confiança de 90%.

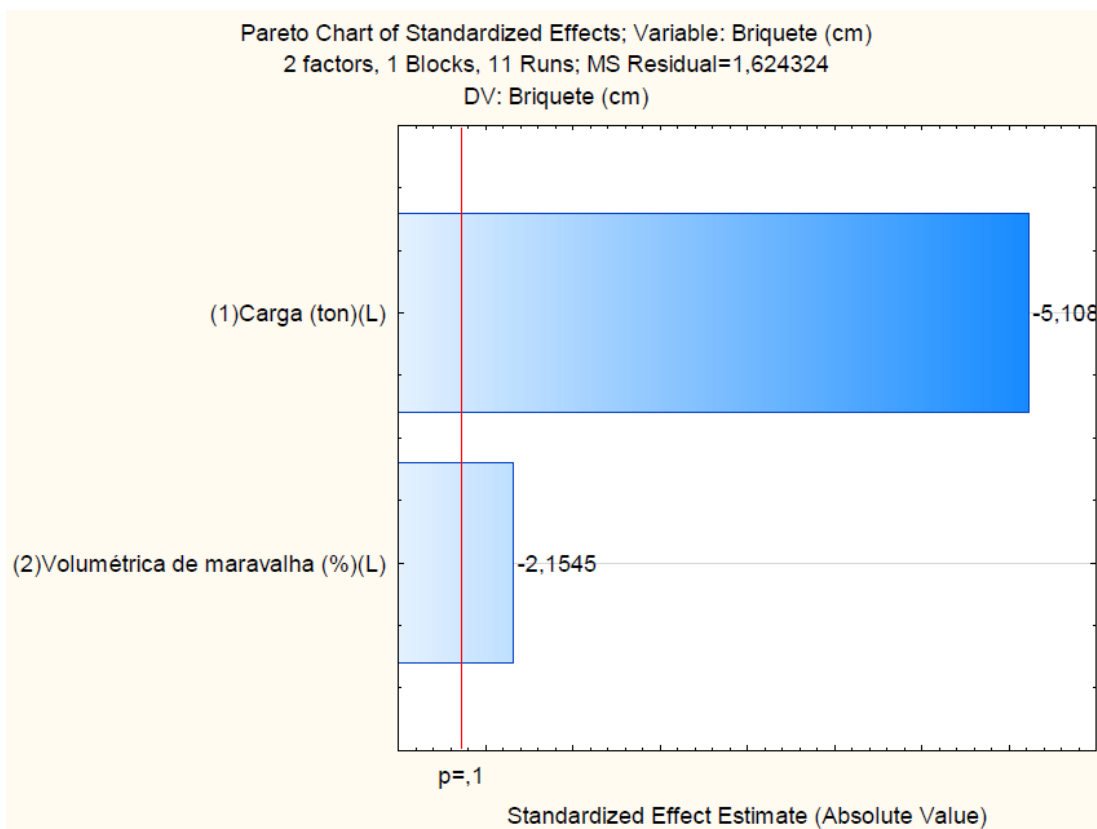


Figura 10 - Gráfico de Efeito Padrão de Pareto. Variável: Tamanho do Briquete.

Os ajustes foram feitos, desconsiderando os valores não significativos, e o gráfico de Pareto apresentou as variáveis significativas em relação ao tamanho final do briquete, assim, nota-se que as variáveis carga e volume de maravalha foram estatisticamente significativas, porém a carga teve maior significância.

As curvas de contorno foram geradas a partir do modelo, elas representam a influência do tamanho final do briquete em função das variáveis independentes.

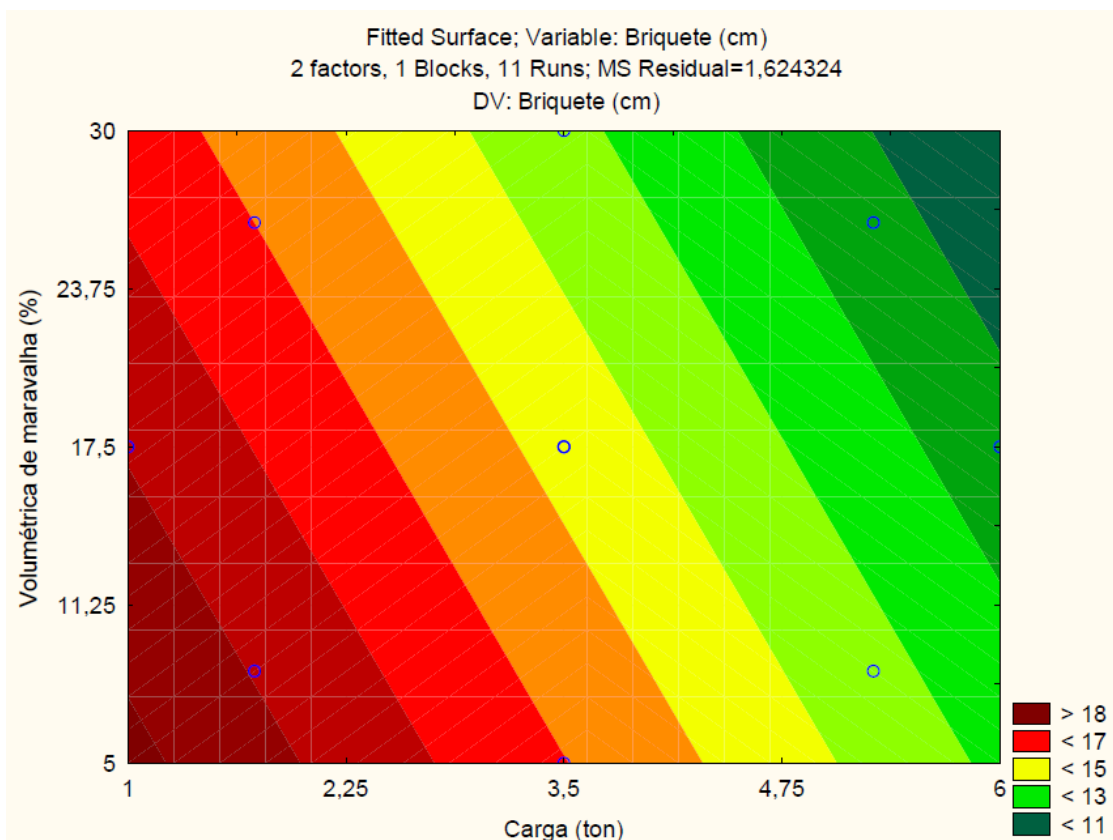


Figura 11 - Curva de contorno para Volume de Maravalha versus Carga. Variável: Tamanho do briquete.

As curvas foram representadas em 2D, assim, pode-se notar ao analisar o gradiente de cores, que a carga influencia de forma mais significativa no tamanho final do briquete, assim, quanto maior for a carga e maior volume de maravalha, menor será o tamanho do briquete.

Os menores briquetes (< 11 cm) podem ser obtidos quando se aplica uma carga de 6 toneladas à um volume de 20 a 30 % de maravalha. Enquanto os maiores briquetes (> 18cm) são obtidos a uma carga de 1 tonelada ao menor volume de maravalha, 5%. Ao se aplicar uma carga de 3,5 toneladas a um volume de 17,5% de maravalha, o briquete apresentou tamanho final de aproximadamente 15 cm.

O ajuste foi feito e obteve-se o gráfico de Pareto abaixo, apresentando o efeito das variáveis independentes sobre a compressibilidade dos resíduos, apresentada em porcentagem.

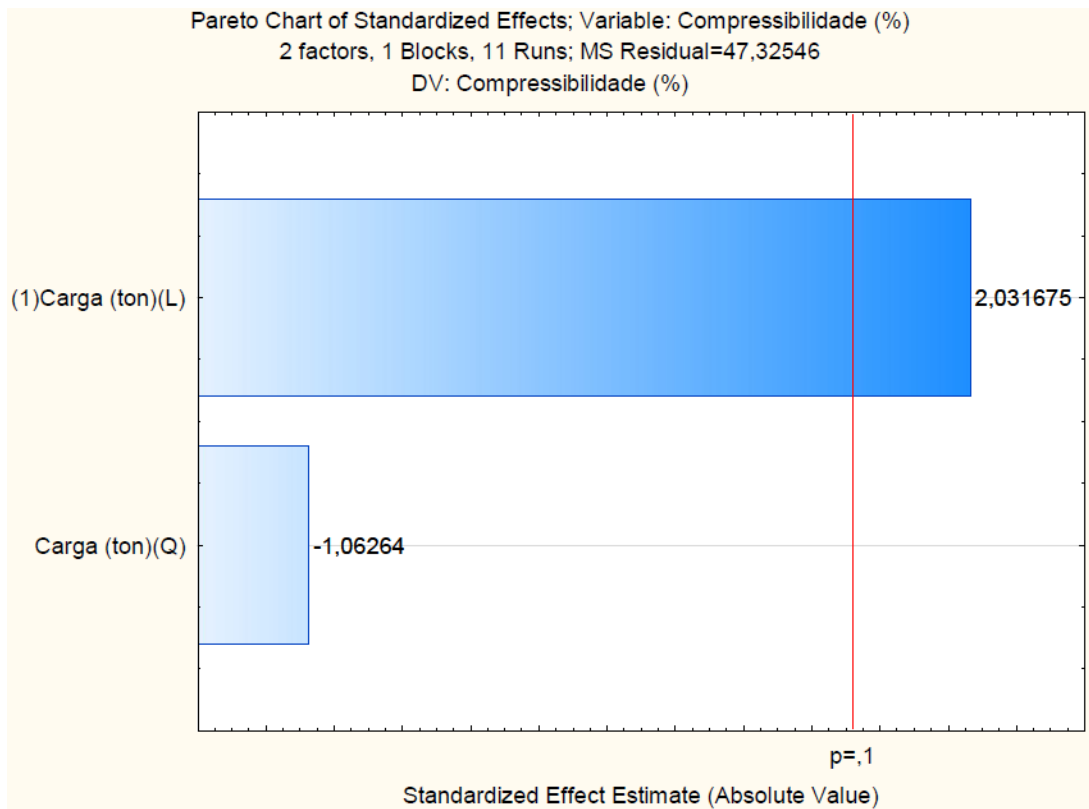


Figura 12- Gráfico de Efeito Padrão de Pareto. Variável: Compressibilidade.

As curvas de contorno geradas representam a influência das variáveis independentes sobre a compressibilidade dos resíduos, assim, nota-se que a compressibilidade dos resíduos é diretamente proporcional a carga aplicada.

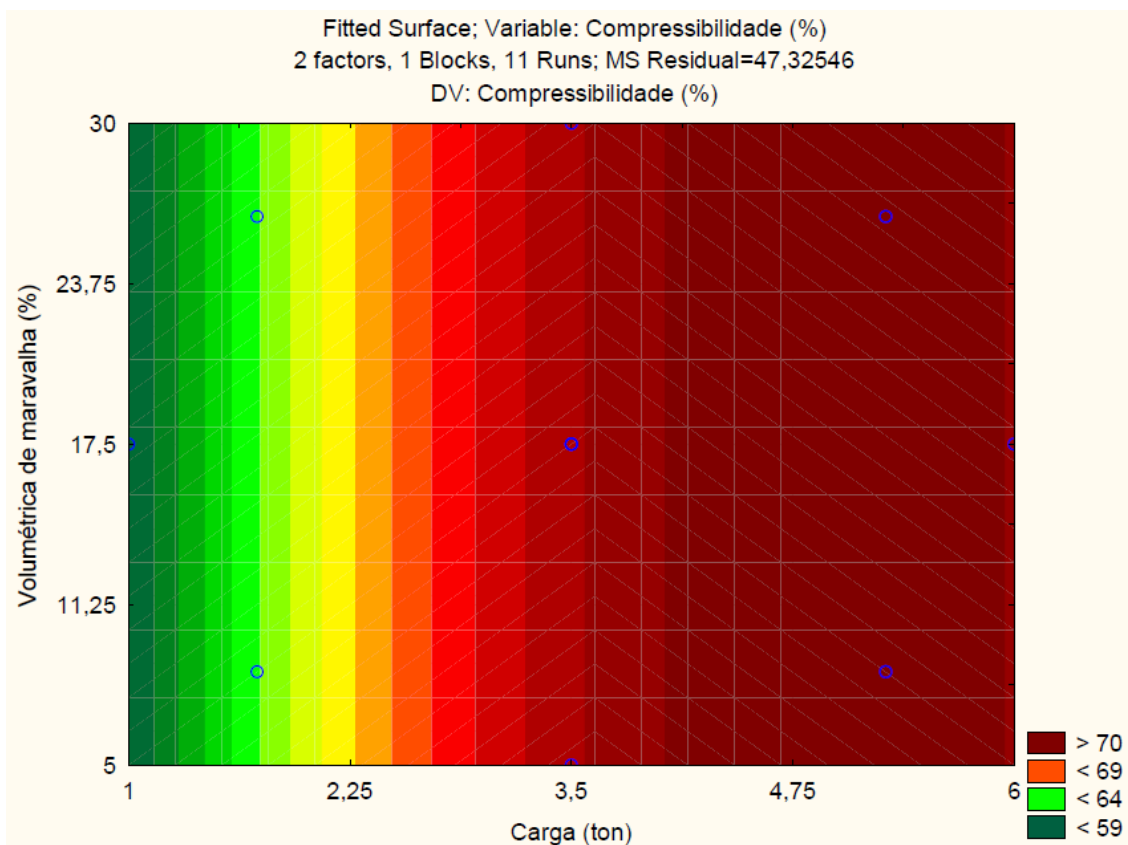


Figura 13 – Curva de contorno para Volume de Maravalha versus Carga. Variável: Compressibilidade.

A curva de contorno apresentada está em função das variáveis independentes: Volume de maravalha (%) e Carga (tonelada). Observando o gradiente de cores, conclui-se que a maior compressibilidade dos resíduos (> 75%) se dá quando se aplica uma carga de 6 toneladas, assim, quanto maior a carga, maior será a compressibilidade.

As equações abaixo descrevem o modelo matemático ajustado obtidos para a compressibilidade e para o tamanho do briquete.

$$\text{Compressibilidade (\%)} = 71,749 + 4,948 * C1 - 4,255 * Vol^2 \quad \text{Eq 8}$$

$$\text{Tamanho do Briquete} = 14,663 - 2,305 * C1 - 0,972 * Vol \quad \text{Eq 9}$$

Onde,

C1 = Carga aplicada (ton)

Vol = Volume de Maravalha (%)

De acordo com a equação, o termo C1 possui situação de proporcionalidade direta com a compressibilidade, visto que seu sinal na equação é positivo, assim, o aumento da carga gera maior compressibilidade dos resíduos, diferentemente do volume de maravalha, que em maior proporção reduz a compressibilidade dos resíduos.

Em relação à equação que representa o tamanho do briquete, pode-se notar que quanto menor a carga aplicada (C1) e menor o volume de maravalha (volume) utilizado, maior será o tamanho do briquete.

A validade estatística do modelo foi validada por meio da ANOVA, na qual se verificou que o valor de F calculado para o tamanho do briquete é igual a 15,369, e o valor de F calculado para a compressibilidade foi de 3,81, sendo estes valores superior ao valor de 3,11 do F tabelado. Isso comprova que há uma diferença significativa entre os tratamentos a um nível de confiança de 10%. O valor de R^2 ajustado foi de 0,742 para o tamanho do briquete, indicando uma boa representação do modelo em relação aos resultados. Enquanto o valor ajustado de R^2 para a compressibilidade foi de 0,36.

6. CONCLUSÃO

A técnica de briquetagem para uso energético ainda é pouco usual no Brasil, possivelmente devido à inexistência de normas, falta de incentivo por parte do governo e falta de cobrança e interesse por parte de clientes no quesito sustentabilidade. Ainda assim, a briquetagem é um método alternativo para o reaproveitamento dos resíduos lignocelulósicos.

Com esse trabalho pode-se concluir que os briquetes produzidos a partir de resíduos provenientes de biomassa vegetal (maravalha de serrarias) e da agroindústria tem grandes potenciais para geração de energia, pois apresentam teores de umidade e cinzas baixo e alto teor de voláteis, o que contribui para uma melhor compactação dos mesmos e para o aumento do poder calorífico durante a compactação.

A adição da maravalha a resíduo agrícola para produção de briquetes é capaz de elevar o poder calorífico do briquete, pois a maravalha contém maior teor de carbono e hidrogênio provenientes da lignina, apresentando poder calorífico superior comparado ao resíduo agrícola.

Das variáveis independentes, a carga teve maior significância sobre o tamanho final do briquete, assim, quanto maior for a carga e o volume de maravalha, menor será o tamanho do briquete. Ao se aplicar uma carga de 6 toneladas aos resíduos com 20 a 30 % de maravalha obteve-se os briquetes com maior massa específica, enquanto os de menor massa específica foram obtidos aplicando uma carga de 1 tonelada aos resíduos com 5% de maravalha.

Desta forma, estes resultados corroboram para a utilização de briquetes como fonte energética que contribuem quanto aos aspectos econômicos, sociais e ambientais, reduzindo assim, o desperdício de matéria prima, as queimadas e o desmatamento excessivo.

REFERÊNCIAS

ABREU, P. H. F. **FORMAS DE APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DA MADEIRA**. Monografia. 46p. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2005.

AMARAL, F. C. S.; TAVARES, S. R. L. **Diferença do teor de fibra da Cana-de-açúcar para fins energéticos motivada pelo bioma**. Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2013. 25 p. - (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627 ; 159)

Disponível

em:

<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/103935/1/DOC-159-Diferenca-Teor-Fibra-Cana.pdf>>. Acesso em: 19/06/2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

BARROS, L. O. **Densidade energética de briquetes produzidos a partir de resíduos lignocelulósicos**. 37p. Universidade de Brasília. Brasília-DF, 2012.

Biomassa já responde por quase 10% de toda a matriz energética do Brasil.

Revista AgriWorld. 83p. Ano 6. Nº 19. 2015.

Disponível em:

<<http://www.agriworld-revista.com/wp-content/uploads/2015/03/AW19.pdf>>.

Acesso em: 28/05/2015.

BORGHI, M. M. **Efeito da granulometria na avaliação dos briquetes**. 47p. Monografia - Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Jerônimo Monteiro , ES, 2012.

BORLINI et al. **Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha Parte I: características da cinza**. Cerâmica 51. p.192-196. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v51n319/26791.pdf>>. Acesso em: 03/07/2016.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Brasília – DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 12/11/2014.

CAIRES, R. R. **BRIQUETAGEM DE RESÍDUOS – BIOMASSA**. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. CAMPINAS, 2010.

CALEGARI, L. et al. **Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no Sul do Brasil**. Biomassa & Energia, v.2, n.1, p. 37-46, 2005. Disponível em: <<http://www.renabio.org.br/04-B&E-v2-n1-2005-p37-46.pdf>>. Acesso em: 11/06/2016.

CARASCHI, J. C.; PINHEIRO, D. G.; VENTORIN, G. **Caracterização física e química dos pellets de madeira produzidos no Brasil**. UFES/Vitória – 23 a 25 de julho de 2012.

Disponível em:

<http://www.abipel.com.br/media/10037/CARACTERIZACAO_FISICA_E_QUIMICA_DOS_PELLETS_DE_MADEIRA_PRODUZIDOS_NO_BRASIL_XIII_EBRAMEM.pdf>. Acesso em: 05/06/2016.

CARVALHO, E. A.; BRINCK, V. **CETEM: BRIQUETAGEM – Cap. 15. CT2004-190-00 Comunicação Técnica elaborada para a 4a Edição do Livro de Tratamento de Minérios.** p.613 - p.636. Rio de Janeiro. 2004.

Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2004-190-00.pdf>>. Acesso em: 15/05/2015.

CARVALHO JÚNIOR, R.M. **Desenvolvimento e análise energética do processo de obtenção do biodiesel de microalga por metanólise in situ.** Dissertação (Mestrado) UFPR, Curitiba – PR, 2010.

CASTILHO JÚNIOR, A. B. Estimativa da Distribuição e dos Teores dos Metais Pesados nas Diversas Frações dos Resíduos Urbanos no Brasil. **BIO – Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente.** Rio de Janeiro, v.1, n.1, p. 57-60, 1988.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA – CENBIO. **Aproveitamento energético de resíduos de madeira e florestais na forma de briquetes.**

Disponível em: <http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_briquete.asp>. Acesso em: 15/05/2015.

CHAVES, A. M. B.; VALE, A. T.; MELIDO, R. C. N.; ZOCH, V. P. **CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DA MADEIRA E CARVÃO VEGETAL DE CLONES DE Eucalyptus spp.** ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p. 534. 2013.

BRICARBRAS. Características Técnicas – Briquetes. Disponível em: <<http://www.bricarbras.com.br/brcaracter.php>> Acesso em: 02/12/2014

COSTA, G, P; MORAES, J, T. **A Fabricação de Briquetes como Alternativa para Destinação Adequada dos Resíduos de Madeira na Indústria Moveleira no ES.** 5 p. Vitória, 2011. Disponível em: <<http://faesa.br/SEA/>>. Acesso em: 15/05/2015.

DANTAS, A. P.; SANTOS, R. R.; SOUZA, C. S. **O Briquete como combustível alternativo para a produção de energia.** IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais 1. Goiânia/GO, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional (BEN) 2014: ano base 2013: Síntese do Relatório Final.** Rio de Janeiro, 2014. 288p. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf>

FONTES, P. J. P. de; QUIRINO, W. F.; PASTORE JUNIOR, F.; FILGUEIRAS, S. M. S. **Aglutinante para briquetagem de carvão vegetal.** Brasília: DPQ/IBDF, 1984.

FROEHLICH, A. G.; JUSTEN, G. S.; LUPPI, L.; MORAES, S. **Utilização de biomassa para geração de energia: estudo de caso em uma indústria madeireira de Aripuanã- MT.** In: VIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2012.

GINÂNI, T. P. **Estudo Preliminar da Produção de Briquetes Compostos a Partir de Resíduos Vegetais.** 37p. Monografia - Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Angicos, RN, 2013.

GREENPEACE. **[R]evolução energética. A caminho de desenvolvimento limpo.** Conselho Europeu de Energia Renovável. 54p. 2010. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2010/11/revolucaoenergeticadeslimpo.PDF>>.

Acesso em: 03/07/2015.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas.** Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012. Disponível em :<http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_r elatorio_residuos_organicos.pdf>

Acesso em: 19/05/2015

KLAUTAU, J. V. P. **Análise Experimental de uma Fornoalha a lenha de Fluxo Cocorrente Para Secagem de Grãos.** 192p. 2008. Dissertação (mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) PPGERHA, UFPR. Curitiba: 2008.

LIPPEL. **Planejando Uma Usina de Briquetagem.**

Disponível em: <http://www.lippel.com.br/usina_briquetagem.pdf>.

Acesso em: 12/11/2014.

LIPPEL. **Estudo de viabilidade de implantação de uma usina de briquetagem. Nd.**

Disponível em: <www.lippel.com.br>.

Acesso em: 02/12/2014.

MCKENDRY, P. **Energy production from biomass (part 1): overview of biomass.** Bioresource Technology, Volume 83, Número 1, maio 2002, p. 37-46, 2002.

MAIA, B. G. O. **Valorização de resíduos da bananicultura e da ricicultura na produção de briquetes.** 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos). Joinville: UNIVILLE, 2013.

MAIA, C. M. B. F. **Produção de biocarvões por pirólise lenta: Potencial agrícola e ambiental.** Anais, XII Evento de Iniciação Científica da Embrapa Florestas, Colombo, PR, 26 e 30 de julho de 2013 [recurso eletrônico] / editores técnicos, Marcílio José Thomazini ... [et al.]. – Dados eletrônicos. - Colombo: Embrapa Florestas, 2013.

Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/93658/1/2013-ClaudiaM-EBSH-Producao.pdf>>

Acesso em: 19/06/2016.

MARCHIORI, Junior. **Aproveitamento de Resíduos de Madeira para Confecção de Briquetes**. Monografia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.

MAROZZI, C, R, B. **Caracterização de Resíduos Agroindustriais e Florestais Visando a Briquetagem**. 28 p. Monografia - Universidade Federal do Espírito Santo, Gerônimo Monteiro, ES, 2012.

MARQUES, R. F. P. V. **Impactos Ambientais da Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos no Solo e na Água Superficial em Três Municípios de Minas Gerais**. Dissertação do Programa de Pós-Graduação apresentada à Universidade Federal de Lavras. 95 p. Lavras-MG. 2011.

MATTIETTO, R. A. MATTA, V. M. **Utilização de um delineamento composto central rotacional para avaliação microbiológica de polpas de açaí pasteurizadas**. 6p. Buzios, RJ. 2012.

Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/70610/1/2012-184.pdf>>

Acesso em: 05/06/2016.

MATOS, A. T. **Curso Sobre Tratamento de Resíduos Agroindustriais. Fundação Estadual do Meio Ambiente**. 9p. 2005.

Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAYNoAL/tratamento-residuos-agroindustriais>>

Acesso em: 27/05/2015.

MENEZES, M. J. S. **Poder calorífico e análise imediata da maravalha de Pinus (Pinus sp) e Araucária (Araucaria angustifolia) de reflorestamento como resíduos de madeira**. 65p. Cascavel, PR: UNIOESTE, 2013.

MORAIS, R. F. **Potencial produtivo e eficiência da fixação biológica de nitrogênio em cinco genótipos de capim elefante (Pennisetum Purpureum Schum), para uso como fonte alternativa de energia**. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

MORO, J. P. **Briquetagem de finos de carvão vegetal**. In: **Anais da 2ª jornada de engenharia dos países de língua Portuguesa**. Rio de Janeiro. 1987. V.1. p. 1-14.

MOTA, J. C.; ALMEIDA, M. M.; ALENCAR, V. C.; CURI, W. F. **Características e Impactos Ambientais Causados Pelos Resíduos Sólidos: Uma Visão Conceitual**. 15p. 2009.

Disponível em:

<<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/21942/14313>>.

Acesso em: 27/05/2015.

MUNALULA, F.; MEINCKEN, M. **Na avaluation of South African fuelwood with regards to calorific value and environmental impact**. Biomass and Bioenergy, Oxford, v.33, n.3, p.415-420. 2009.

Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/222584043_An_evaluation_of_South_African_fuelwood_with_regards_to_calorific_value_and_environmental_impact>.

Acesso em: 19/06/2016.

NASCIMENTO, S. M.; DUTRA, R.I.J.P.; NUMAZAWA, S. **Resíduos de indústria madeireira: Caracterização, conseqüências sobre o meio ambiente e opções de uso.** HolosEnvironment, Rio Claro, v.6, n.1, p.8-21, 2006.

OBERNBERGER, I.; BRUNNER, T.; BARNTHALER, G. **Chemical properties of solid biofuels: significance and impact.** 30p. Institute for Resource Efficient and Sustainable Systems. Graz University of Technology, Austria, 2005.

Disponível em: <[http://www.weedcenter.org/cig/docs/III%20Paper-Obernberger-ChemicalPropertiesSolidBiofuels-Leipzig-2005-10-07%20\(1\).pdf](http://www.weedcenter.org/cig/docs/III%20Paper-Obernberger-ChemicalPropertiesSolidBiofuels-Leipzig-2005-10-07%20(1).pdf)>

Acesso em: 19/06/2016

OLIVEIRA, V. **Avaliação energética e econômica da secagem de grãos utilizando secador de coluna com caldeira aquatubular.** 83 p. Cascavel, PR: UNIOESTE, 2014.

ORMOND, J. G. P. **Glossário de termos usados em atividades agropecuárias, florestais e ciências ambientais.** 3. ed. Rio de Janeiro: BNDES, 2006. 54 p.

PEREIRA, S. S. **A problemática dos resíduos sólidos urbanos e os instrumentos de gestão do meio ambiente na cidade de Campina Grande/PB.** Nd.

Disponível em: <http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&+artigo_id=10535>.

Acesso em: 27/05/2015.

QUIRINO, W. F. et al. **Influência da pressão e material nas propriedades de briquetes de biomassa florestal.** 4p.SD. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. **Características e Índice de Combustão de Briquetes de Carvão Vegetal.** Laboratório de Produtos Florestais - LPF/IBAMA. Brasília, 1991. 19p.

QUIRINO, W. F. **Briquetagem de Resíduos Ligno-celulósicos.** Laboratório de Produtos Florestais – LPF/IBAMA. Brasília, 2000. 10p. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/leresiduos3_000g823ugcv02wx5ok0u5nfp9o181zj.pdf>.

Acesso em: 19/05/2015.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais.** Brasília, Laboratório de Produtos Florestais - LPF/IBAMA, 2003. 14 p.

QUIRINO, W. F. et al. **Poder Calorífico da Madeira e de Resíduos Lignocelulósicos.** Biomassa&Energia - LPF/IBAMA v. 1, n. 2, p. 173-182. Brasília, 2004.

RAMOS E PAULA, L, E. **Produção e Avaliação de Briquetes de Resíduos Lignocelulósicos**. 72 p. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira - Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2010.

RAMOS E PAULA, L, E et al. **Produção e Avaliação de Briquetes de Resíduos Lignocelulósicos**. PFB -Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v.31, n.66, p.103-112, abr./jun. 2011.

RODRIGUES, Valéria Antonia Justino. **Valorização energética de lodo biológico da indústria de polpa celulósica através da briquetagem**. 2010. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

RODRIGUES, L. D.; SILVA, I. T.; ROCHA, B. R. P.; SILVA, I. M. O. **Uso de briquetes compostos para produção de energia no estado do Pará**, nd 6p.

Sant'Anna et al. **Caracterização de briquetes obtidos com resíduos da agroindústria**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.14, n.3, p.289-294, 2012.

SARDINHA, A.M., et al. **Combustão lenhosa directa e indirecta. Sua relevância para a temática dos fogos florestais**. Lisboa, Portugal. 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.gpeari.mctes.pt/pdf/slu/v10n1/10n1a06.pdf>>. Acesso em: 19/06/2016.

SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura. **Fatos e números do Brasil Florestal**. Dezembro de 2008. 178p. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>>. Acesso em: 18/05/2015.

SILVA, Claudinei Augusto da. **Estudo técnico-econômico da compactação de resíduos madeiros para fins energéticos**. 2007. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SILVEIRA, L. A. P., LOPES, M. C. **Análise da Viabilidade Econômica para a Implantação de uma Indústria de Briquetes de Resíduos de Madeira**. Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010. Disponível em: <http://www.researchgate.net/profile/Merielen_Lopes/publication/228454744_ANALISE_DA_VIABILIDADE_ECONOMICA_PARA_A_IMPLANTAO_DE_UMA_INDUSTRIA_DE_BRIQUETES_DE_RESIDUOS_DE_MADEIRA/links/540a0a800cf2df04e7491fdf.pdf>. Acesso em: 18/05/2015.

TUOTO, M. **Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover o seu uso adequado**. Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental. 35p. Curitiba, 2009.

VALE, A. T.; GENTIL, L. V. Produção e uso energético de biomassa e resíduos agroflorestais. In: **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III**. p.195-241. Rio Branco: Suprema, 2008.

VALE, A. T. et al. **Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arabica*, L) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*), DUKE**. Cerne, Lavras, v.13, n.4, p. 416-420. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da Biomassa Proveniente de Resíduos Agrícolas para geração de energia**. 56p. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

ZORZAN, F., PINTO, J. P., PAZ, J. M., PASA, M. E., MANTOVANI, C. A. **Desenvolvimento da concepção de uma máquina compactadora de resíduos vegetais para produção de briquetes**. SIEF – Semana Internacional das Engenharias da FAHOR, 2011. Disponível em: <http://www.fahor.com.br/publicacoes/sief/2011_Desenvolvimento_%20compactadora_%20residuos_vegetais.pdf> Acesso em: 02/12/2014.