



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
FACULDADE DE TECNOLOGIA – FT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL – EFL

**VIABILIDADE TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE BRIQUETES A PARTIR
DO BAGAÇO DE MALTE DE CEVADA**

LOYANE FERNANDES DA SILVA

Brasília-DF

2018

LOYANE FERNANDES DA SILVA

**VIABILIDADE TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE BRIQUETES A PARTIR
DO BAGAÇO DE MALTE DE CEVADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Dra. Mírian de Almeida Costa
Co-orientador: Prof. Dr. Ailton Teixeira do Vale

Brasília-DF

2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois tudo foi feito por Ele, para Ele e com Ele. E também à Nossa Senhora por ser minha guia e amparo.

Agradeço aos meus pais Ana Cristina e Robson e minha irmã Laenny, por todo apoio, dedicação, amor, cuidado e zelo. Minhas fortalezas.

Ao Filipe, que tanto me ajudou, me deu suporte, por todas as vezes que disse que ia ficar tudo bem, que aguentou meus choros e vibrou comigo nos momentos de alegria, e que sempre se esforçava para entender o que eu estava passando. Um parceiro de vida.

Ao Professor Ailton, por tamanha dedicação, orientação, atenção, paciência e por se ter feito presente durante o trabalho. Um exemplo de profissional.

À Mirian, que com sua voz sempre doce tentou resolver tudo. Obrigada pelas conversas, por passar pelas aventuras no laboratório, pela dedicação, conselhos, orientação, ajuda, por fornecer o material para este trabalho, e por tantas outras coisas. Peça fundamental nesse fim de graduação.

Ao Setor de Energia do Serviço Florestal Brasileiro, por ceder espaço e material para que esse projeto saísse do papel. Ao Bruno, Gustavo e Greg, que me ajudaram durante esse percurso, e pela presteza nos momentos de dúvida.

A todos os professores da Engenharia Florestal, pela dedicação e ensino. Aos servidores do departamento, às meninas da secretaria que sempre estiveram à disposição nesses 5 anos, ao pessoal da pós-graduação que foi companhia no laboratório.

A todos que conheci na UnB durante a graduação, foram muitas pessoas, por isso prefiro não citar nomes para não esquecer ninguém, mas levo todos no coração. Vocês foram verdadeiros amigos e colegas que dividiram as janelas de 6 horas, foram companhias na fila do RU, que entendiam o cansaço. Agradeço por todas as caronas, companhia no metrô, conversas de 5 minutos ou 2 horas, ajuda com a tarefa, ou com aquele trabalho gigante. Tive a oportunidade de conhecer muitas pessoas a cada semestre, tive células companheiras de diferentes períodos do curso, colhi florzinhas maravilhosas nesses 5 anos, vocês foram apoio nos melhores e piores momentos.

Aos amigos fora da faculdade, os que estão comigo desde sempre, ou do ensino médio, os que conheci na igreja. Vocês são maravilhosos.

A todos que participaram e contribuíram de forma direta ou indireta, o meu
OBRIGADA!

RESUMO

Com o intuito de buscar alternativas para o aproveitamento de resíduos de biomassa, o objetivo deste trabalho foi estudar a viabilidade da produção de briquetes a partir do resíduo da indústria cervejeira artesanal, mediante a qualificação deste material. As características analisadas foram: umidade, granulometria, análise imediata, análise elementar, poder calorífico superior, inferior e útil, densidade energética e resistência mecânica no sentido diametral dos briquetes. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas através do teste de Tukey a 5% de significância. Ao final do estudo, com base principalmente na densidade energética e resistência mecânica dos briquetes, pôde-se concluir que os mesmos apresentaram potencial para uso como insumo energético, podendo contribuir na gestão dos resíduos nas indústrias cervejeiras, assim como alternativa para a produção de briquetes.

Palavras-chave: energia renovável, briquete, resíduo, bagaço do malte de cevada, indústria cervejeira.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variedades de cevada, dística (esquerda) e hexástica (direita).....	13
Figura 2 - Variações da coloração do malte.	14
Figura 3 - Fluxo de produção de cerveja.	14
Figura 4 - Resíduo cervejeiro úmido.	22
Figura 5 - Eletronic Balance 2000.....	23
Figura 6 – Agitador Eletromagnético com um grupo de peneiras.....	24
Figura 7 - Forno mufla com as duas amostras para ensaio de teor de voláteis.	25
Figura 8 - Triplicatas para ensaio de teor de cinzas dentro da mufla.	26
Figura 9 – A) Bomba calorimétrica; B) Peletes para ensaio de poder calorífico	27
Figura 10- Briquetes dos ensaios pilotos, com suas respectivas pressões, temperaturas, teor de umidade, tempo de compactação : A) 70 kgf/cm ² , 120 C°, 4% , 5 minutos; B) 40 kgf/cm ² 120 C°, 9%, 5 min.; C) 40 kgf/cm ² 90 C°, 9%, 5 min.; D) 100 kgf/cm ² 90 C°, 9%, 30 seg.; E) 100 kgf/cm ² 120 C°, 9%, 1 min.; F) 40 kgf/cm ² 120 C°, 9%, 2 min.; G) 100 kgf/cm ² 120 C°, 9%, 30 seg.	30
Figura 11 - Ensaio de resistência à compressão dos briquetes.....	32
Figura 12 - Classificação granulométrica do resíduo in natura.	33
Figura 13 - Material retido em cada peneira, com suas respectivas aberturas.	34
Figura 14 - Briquetes com diferentes granulometrias. A) <i>In natura</i> ; B) <14 Mesh; C) < 35 Mesh.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do bagaço de malte de cevada encontrado.	16
Tabela 2 - Tipos de malte utilizados na produção da cerveja artesanal.	21
Tabela 3 - Parâmetros ensaiados nos testes pilotos	29
Tabela 4 - Tratamentos realizados no trabalho	31
Tabela 5 - Valores médios de teor de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo do resíduo in natura.	35
Tabela 6 - Valores obtidos na análise elementar	36
Tabela 7 - Poder calorífico superior (PCS), poder calorífico inferior (PCI) e poder calorífico útil (PCU) do resíduo in natura.	37
Tabela 8 - Valores médios para densidade aparente	38
Tabela 9 - Valores médios para densidade energética e a resistência mecânica	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVO GERAL	10
2.1. Objetivos Específicos	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.1. Aproveitamento de resíduos agroindustriais	11
3.2. Biomassa.....	11
3.3. Cevada	12
3.3.1. Aspectos Gerais	12
3.3.2. Produção de cerveja	13
3.3.3. Bagaço de malte como alternativa energética.....	15
3.3.4. Briquetes	17
3.4. Propriedades físicas, químicas e energéticas da biomassa	18
3.4.1. Umidade, densidade e granulometria.....	18
3.4.2. Teor de voláteis, cinzas e de carbono fixo.....	19
3.4.3. Teores de Carbono, Hidrogênio, Oxigênio, Nitrogênio e Enxofre	20
3.4.4. Poder calorífico e densidade energética.....	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1. Característica do resíduo	21
4.2. Obtenção e preparo dos resíduos	21
4.3. Determinação do teor de umidade	22
4.4. Análise Granulométrica.....	23
4.6. Análise Elementar.....	27
4.8. Confecção dos briquetes	28
4.8.1. Ensaio Pilotos	28
4.9. Produção dos briquetes	31
4.10. Determinação da densidade aparente.....	31
4.11. Determinação da resistência mecânica	31
4.12. Determinação da densidade energética.....	32
4.13. Análise Estatística.....	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. Teor de umidade	33
5.2. Análise Granulométrica.....	33
5.3. Análise Imediata	35
5.4. Poder Calorífico.....	36

5.5. Confecção dos briquetes	37
5.6. Características energéticas e mecânicas dos briquetes	38
5.7. Considerações finais	41
6. CONCLUSÃO	41
7. RECOMENDAÇÕES	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem seu território beneficiado pela sua posição no globo terrestre, pois recebe radiação solar durante todo ano, tem uma grande extensão territorial e condições edafoclimáticas favoráveis. Esses fatores fazem com que o país seja um grande produtor florestal e agrícola, com uma forte agroindústria. Esta pode ser conceituada como o conjunto de atividades relacionadas à transformação de matérias-primas provenientes da agricultura, pecuária, aquicultura ou silvicultura (VIANA & CRUZ, 2016).

Neste sentido o Brasil é também um grande produtor de resíduos de biomassas que necessitam de estudos que os tire da condição de resíduos descartáveis e os recolquem na condição de insumo de um novo produto. O país apresenta condições necessárias ao processo de transformação da biomassa, seja para fins energéticos ou para produção de alimentos (COUTO et al. 2004).

Devido ao processo acelerado de urbanização e expansão, é demandado maior uso de energia, porém as fontes mais usuais não são renováveis e vêm diminuindo, tornando as fontes de energias renováveis ou limpas uma opção cada vez mais tangível e necessária para os tempos modernos (SOUZA, 2014). Desta forma, a biomassa aparece com destaque neste cenário (SOUSA, 2012).

O aproveitamento da biomassa é vantajoso no sentido econômico, sustentável, energético e ambiental, pois a sua produção para fins energéticos é renovável, gera mais empregos e diminui a pressão sobre as fontes não-renováveis (GONÇALVES, 2006). Estas vantagens do uso da biomassa justificam os estudos desenvolvidos no sentido de encontrar diferentes formas de reaproveitamento destes materiais.

Uma das possibilidades é a produção de briquetes, que se caracteriza por ter baixos custos de armazenamento e transporte devido à homogeneização do tamanho; apresenta alta concentração de energia por unidade de volume; além disso, possui vantagens ambientais, sociais e econômicas. De acordo com Quirino (2002), o processo de briquetagem consiste na densificação de resíduos, e todos aqueles de origem vegetal podem ser compactados pela briquetagem, bastando atender as especificações do processo - granulometria e teor de umidade controlados.

A briquetagem de biomassa ou de resíduos de biomassa é uma realidade no Brasil, principalmente a partir de madeira. Para outros resíduos agroindustriais, como os resíduos de malte da produção de cerveja, a briquetagem ainda está em no nível investigativo.

O bagaço de malte gerado é um subproduto obtido no início do processo de produção de cerveja, correspondendo a cerca de 85% do total de subprodutos gerados. É o principal resíduo da indústria cervejeira, está disponível o ano todo, e gera-se cerca de 14-20 kg a cada 100 litros de cerveja produzida (CORDEIRO, 2012; KNISS et al. 2015).

É rico em fibras e proteínas e é considerado um material lignocelulósico ainda muito pouco estudado (MELLO et al., 2014). Diversos estudos mostram a aplicação deste material na alimentação de gado bovino, suíno, aves, peixes na piscicultura e também na alimentação humana (FERRINHO, et al 2003; CORDEIRO, 2012; MATTOS, 2010). Segundo o trabalho de Dobrzanski et al. (2008), devido ao alto valor de fibras e resíduos de proteínas e açúcares, este material tem um potencial de utilização em produtos na panificação, como pães e biscoitos.

Em 2016, o Brasil tornou-se o terceiro maior produtor mundial de cerveja, tendo a indústria gerado cerca de 2,2 milhões de empregos e sua receita corresponde a 1,6% do Produto Interno Bruto (PORTAL BRASIL, 2017).

A proposta deste trabalho é agregar valor ao resíduo do bagaço do malte com a briquetagem, conciliando a necessidade de encontrar alternativas energéticas e reaproveitando o resíduo da indústria cervejeira.

2. OBJETIVO GERAL

Estudar a viabilidade técnica da produção de briquetes a partir do resíduo da indústria cervejeira artesanal, mediante a qualificação deste material.

2.1. Objetivos Específicos

- I - Caracterizar o potencial energético do resíduo;
- II - Produzir briquetes como forma de reaproveitamento do resíduo de malte de cevada;
- III – Avaliar a resistência mecânica e densidade energética dos briquetes produzidos com o bagaço de malte.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Aproveitamento de resíduos agroindustriais

A agroindústria pode ser conceituada como o conjunto de atividades relacionadas à transformação de matérias-primas provenientes da agricultura, pecuária, aquicultura ou silvicultura em produtos (ARAÚJO, 2005).

O crescimento no agronegócio brasileiro é destaque no desenvolvimento nacional, a aplicação de inovações tecnológicas fez com que houvesse progresso na produtividade deste setor. Os significativos avanços no desempenho do agronegócio implicaram no aumento do consumo de insumos e da geração de resíduos nas atividades agropecuária e agroindustrial. (ROSA, et al. 2011).

Segundo Quirino (2002), resíduo é a sobra de um processo de produção ou exploração, de transformação ou de utilização, como os rejeitos oriundos da indústria madeireira; móveis velhos, madeira de demolições, postes, estacas, dormentes, paletes, resíduos de culturas agrícolas ou de beneficiamento de produtos agrícolas e embalagens em fim de vida útil. Estes resíduos podem deixar de ser um risco para o meio ambiente e passar a ser matéria-prima para diversos outros processos, reduzindo custos (VALE & GENTIL, 2008).

Os resíduos resultantes das atividades agroindustriais são gerados no processamento e/ou beneficiamento de suas matérias primas como couro, fibras, alimentos, madeira, produção de açúcar e álcool, etc. Isto se tornou uma problemática relacionada a este segmento, pois na maioria dos casos, os resíduos oriundos das agroindústrias não são tratados e apresentam uma disposição ambientalmente inadequada, com potenciais riscos de contaminação dos solos e águas, sendo necessárias medidas que busquem a disposição ambientalmente correta e o aproveitamento destes como matéria-prima para outras atividades (VIANA & CRUZ, 2016)

Como o país é um dos maiores produtores agrícolas e florestais do mundo, a quantidade de biomassa residual representa um depósito de energia que pode ser melhor aproveitada, e a sua utilização energética na forma de briquetes é uma alternativa para minimizar os impactos causados pelos resíduos (PAULA, 2010; DIAS et al., 2012).

3.2. Biomassa

O mundo se encontra diante de uma grave situação quanto ao seu suprimento sustentável de energia, e este problema tem um número reduzido de soluções. Diante disso, faz-se necessário inverter o atual quadro de consumo, sendo a biomassa a mais promissora fonte alternativa para uma situação de suprimento energético que só tende a se agravar, uma vez que

constitui uma fonte renovável. A partir da biomassa podem ser produzidos combustíveis sólidos, líquidos e gasosos (COUTO et al., 2004).

O termo biomassa pode ser definido do ponto de vista energético como sendo toda matéria orgânica, de origem vegetal ou animal, utilizada na produção de energia, tais como: resíduos florestais como é o caso do pó-de-serra, maravalha, aparas; resíduos agrícolas como bagaço de cana-de-açúcar, palha do milho, cascas de arroz, baru, coco verde; resíduos animais e a matéria orgânica contida nos resíduos industriais, domésticos, municipais e outros (COMITRE, 1995; QUIRINO, 1991; SILVA et al., 2008).

Para Grauer & Kawano (2001), entre os benefícios da utilização da biomassa estão o baixo custo de aquisição, liberação de resíduos menos agressivos ao meio ambiente e a redução das emissões de poluentes.

De acordo com Nogueira & Lora (2003), se estas fontes de energia provindas da biomassa fossem usadas para a geração de energia, proporcionaria principalmente a diversificação das fontes tradicionalmente utilizadas, como é o caso do petróleo, gás natural e carvão mineral, que são fontes de energia não-renováveis.

3.3. Cevada

3.3.1. Aspectos Gerais

A cevada (*Hordeum* sp.) pertence à família das gramíneas e sua utilização remonta desde o Egito Antigo (AGEITEC, 2017). Segundo Minella et al. (1981), ela apresenta características próprias, as quais possibilitam seu cultivo em regiões onde a alcalinidade dos solos, geadas e secas dificultam o cultivo de outros cereais.

Este cereal é o quinto mais produzido no mundo e é utilizado tanto na alimentação humana como na ração de animais. No Brasil, é principalmente cultivada na região Sul, mas também é encontrada em São Paulo, Minas Gerais e Goiás. Da produção nacional, 75% são usadas pela indústria, 19% para produção de ração animal e 6% para semente (AGEITEC, 2017).

Embora tenha diversas finalidades, seus grãos têm sido destinados principalmente à indústria cervejeira, no preparo do malte, onde alcançam os melhores preços, já que reúne várias características que justificam sua utilização: rica em amido, contém enzimas, possui uma casca que confere proteção ao grão durante a malteação e dá o aroma e sabor característicos do produto (URCHEI & RODRIGUES, 1994; ZUPPARDO, 2010).

A cevada atualmente cultivada com objetivo comercial é dividida em dísticas e hexásticas (Figura 1). A primeira apresenta duas carreiras de grão, e a segunda tem uma espiga de seis carreiras de grãos, sendo a dística a mais utilizada pela indústria cervejeira pois apresenta maior conteúdo de amido (SILVA NETO, et al, 2016).



Figura 1 - Variedades de cevada, dística (esquerda) e hexástica (direita).

Fonte: GROVER, 2014.

3.3.2. Produção de cerveja

A cevada torna-se efetivamente ingrediente da indústria cervejeira após o processo de malteação, originando o malte (SILVA NETO et al. 2016). A malteação é um processo controlado de germinação da cevada, onde o grão é embebido em água e mantido a 10 - 12°C, produzindo um complexo de enzimas capazes de converter o amido do cereal em açúcares fermentescíveis, além de fornecer aminoácidos em quantidades adequadas e outros nutrientes para a ação da levedura (AGEITEC, 2017).

O Ministério da Agricultura, por meio da Portaria n. 166/1997, definiu o malte cervejeiro, ou a cevada maltada, como um produto proveniente da germinação forçada da cevada, submetido a temperatura e umidade controlada (BRASIL, 1977).

O malte adquire determinadas características de coloração e aroma que pode ser de caramelo, café, chocolate, frutas secas, entre outros (Figura 2) dependendo da intensidade da secagem e da torra do grão. Tanto o tempo em que o grão é germinado, como a quantidade de calor em que ele é seco tem um impacto direto na cerveja (SIGOLO, 2010).



Figura 2 - Variações da coloração do malte.

Fonte: SIGOLO, 2010.

A produção de cerveja consiste em algumas etapas, descritas abaixo (MELLO, 2014) e apresentadas de forma resumida na Figura 3:

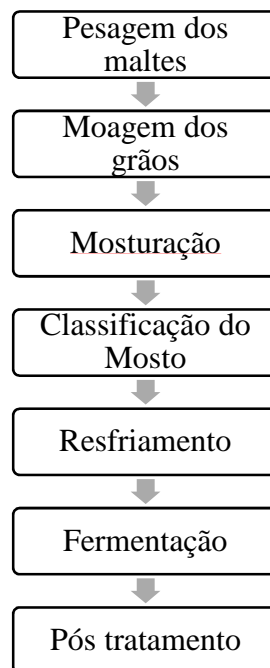


Figura 3 - Fluxo de produção de cerveja.

Fonte: MELLO, 2014

- O processo de produção do mosto inicia-se com o recebimento do malte, que é pesado em balanças apropriadas e enviado à moagem. A moagem pode ser realizada a seco ou por via úmida com o objetivo de tornar a casca do malte mais maleável.
- Após a moagem do malte, inicia-se a etapa de mosturação, com a finalidade de recuperar, no mosto, a maior quantidade possível de extrato a partir do malte ou da mistura do mesmo com adjuntos.
- Após a mosturação, o mosto é filtrado para separação da parte sólida insolúvel na massa, fervido com a adição do lúpulo para conferência de estabilidade biológica, bioquímica e coloidal e desenvolvimento de cor, aroma, sabor e concentração do extrato. Esta parte sólida separada por filtração ao final da mosturação é o subproduto, ou seja, o bagaço.
- Ao fim, o mosto é resfriado para atingir condições adequadas de fermentação.
- A fermentação alcoólica tem início com a adição do fermento ao mosto cervejeiro e é realizada geralmente em processo descontínuo. Nesta fermentação, o tipo de levedura determina o tipo de fermentação, alta ou baixa, influenciando também na temperatura necessária ao processo.
- O pós-tratamento da cerveja visa condicionar o produto de forma a deixá-lo adequado para o consumo após a fermentação e envolve diversas operações como carbonatação, modificação de sabor e aroma, padronização da cor, estabilização contra turbidez, clarificação, etc.

3.3.3. Bagaço de malte como alternativa energética

Os principais resíduos gerados na produção de cerveja, segundo a *United Environment Programme*, (UNEP,1996) são:

- Grãos usados: resíduos oriundos do aproveitamento do conteúdo dos grãos de malte, constituídos de restos de cascas e polpa de grãos, misturados, em suspensão ou dissolvidos no mosto.
- Bagaço de malte: resíduo gerado na filtração do mosto após a caldeira de mostura, antes da fervura.
- Trub grosso: resíduo gerado na filtração do *whirlpool*, na primeira filtração após o cozimento, composto de gordura vegetal e proteínas coaguladas.

- Trub fino: resíduo obtido na segunda filtração, composto de gordura vegetal que sai misturado a terra diatomácea e parcelas de levedo.

Segundo Mello (2014), o bagaço do malte de cevada é o principal subproduto da indústria cervejeira resultante do processo de prensa e filtração do mosto obtido através da sacarificação do grão de cereal (cevada e adjuntos). Correspondendo cerca de 85% do total de resíduos gerados.

O bagaço de malte está disponível o ano todo, em grandes quantidades do processo cervejeiro, sendo gerado cerca de 14-20 kg a cada 100 litros de cerveja produzida (CORDEIRO, 2012). Este resíduo, também denominado resíduo úmido de cervejaria (RUC), pode ser comercializado sob a forma úmida, prensada ou seca. No Brasil, é comercializado em forma úmida e armazenado em condições aeróbicas por períodos entre 20 e 30 dias no valor de cerca de R\$ 0,10/kg (MELLO, 2014).

Cordeiro (2011) citou diversos autores que ponderaram sobre a conservação desse material, pois sua umidade limita seu tempo útil de vida, sendo os fungos e as leveduras os principais microrganismos responsáveis pela degradação do resíduo em condições de aerobiose, sendo aconselhado menores períodos de armazenamento.

Quanto às características deste material, segundo a classificação internacional de alimentos, o RUC é considerado um produto proteico, uma vez que possui teores de fibra bruta menores que 18% e de proteínas maiores que 20%. Devido as características nutricionais são usados na fabricação de ração animal (MELLO, 2014).

Este autor, avaliando o bagaço de malte de cevada, obteve resultados médios para teor de lignina de 14,65%, sendo este conteúdo parte da composição da matéria orgânica da amostra. A Tabela 1 apresenta a porcentagem dos componentes estudados pelo autor encontrada na amostra de bagaço de malte de cevada.

Tabela 1 - Composição química do bagaço de malte de cevada encontrado.

Componente		%	
Água	77,61	Componente	% da matéria seca
		Proteína	32,07
		Celulose	18,54
		Lignina	14,65
Matéria seca	22,39	Lipídios	11,84
		Hemicelulose	11,48
		Açúcares totais	1,38
		Açúcares redutores	0,27
		Outros	7,95

Fonte: Mello (2014)

Uma das diversas aplicações para o bagaço do malte, citada por Mathias et al. (2014), é a produção de energia por queima direta ou por produção de biogás, via fermentação anaeróbica; produção de carvão vegetal; entre outros. O seu reaproveitamento pode ser vantajoso no sentido econômico, sustentável, energético e ambiental.

3.3.4. Briquetes

Conforme Quirino (2002), o briquete poder ser produzido a partir das mais diversas matérias-primas, como carvão vegetal, serragem, aparas de madeira, rejeitos de resíduos sólidos urbanos, minérios, e ainda, resíduos de produtos agrícolas, como resíduos de mandioca, arroz, amendoim, algodão, bagaço de cana-de-açúcar, etc, bastando atender às necessidades adequadas ao processo de densificação, como a granulometria e teor de umidade exigido pelo processo.

O processo de briquetagem consiste na compactação da biomassa a elevadas pressões e na elevação da temperatura do processo, na ordem de 100°C. Com o aumento da temperatura se tem uma plastificação ou amolecimento da lignina, promovendo interação química entre as partículas dando ao material uma estrutura bem definida (QUIRINO, 1991). Alguns estudos mostram que a temperatura máxima não deve ultrapassar 220°C, porém ela depende da matéria-prima, pré-tratamento, tempo e teor de umidade (DIAS et al., 2012).

Segundo Gonçalves (2010), o processo da briquetagem pode ser feito com ou sem adição de ligantes. Existem vários mecanismos para permitir a ligação entre as partículas da biomassa, quando compactada. Algumas matérias-primas contém compostos ligantes naturais, como a lignina, proteínas, amido, gorduras e carboidratos solúveis que são adesivos naturais da biomassa e podem ser ativados pelas elevadas pressões e temperaturas alcançadas no processo de compactação, como é o caso da lignina, que amolece entre 100 e 190°C e age como uma cola entre as partículas. Caso a matéria-prima tenha deficiência desses compostos, há a necessidade da adição do ligante (GROVER & MISHRA, 1996; DIAS, 2012).

A densificação, compactação, ou aglomeração da biomassa proporciona uma série de vantagens, quando comparada a sua utilização no estado natural, principalmente no tocante ao armazenamento, manuseio, aumento da densidade e densidade energética (MIGLIORINI, 1980). Os resíduos briquetados são secos, possuindo um teor de umidade por volta de 8-12%. Estes briquetes são equivalentes a uma lenha seca, de elevada densidade e com uma forma extremamente homogênea, permitindo mecanização na alimentação de equipamentos (QUIRINO, 2002).

No Brasil são produzidos cerca de 1,2 milhão de toneladas de briquetes por ano, sendo 930 mil t de madeira e 272 mil t de resíduos agrícolas como bagaço de cana, palha e casca de arroz, resíduos de caroço de algodão entre outros (BRAZILIAN ASSOCIATION INDUSTRY BIOMASS AND RENEWABLE ENERGY, 2017). A produção nacional de briquetes é de 4,4% da produção total anual de descartes lignocelulósicos, ou seja, ainda existe teoricamente um potencial a explorar de 95,6% da produção de descartes, que geraria riqueza, desenvolvimento regional, emprego e renda (GENTIL, 2008).

Entre as vantagens dos briquetes estão a boa qualidade energética, ser um produto ecológico e que oferece um bom manuseio, transporte e armazenamento. A ausência de leis, normas e legislação em geral facilita sua produção e circulação no mercado, e por ser um biocombustível seu comércio é facilitado, além de gerar empregos nas comunidades próximas às indústrias que geram resíduos. Os mercados mais promissores são as agroindústrias e os setores de alimentação como panificadoras, restaurantes e pizzarias (GENTIL, 2008).

As desvantagens da produção de briquetes são apontadas por Dias et al. (2012) como desafios a serem superados, e são divididas em três principais áreas:

- Logística: a densidade da biomassa residual, somada ao custo de coleta e de transporte, torna difícil a utilização dos resíduos longe dos locais de produção; dessa forma, as plantas de briquetagem devem estar localizadas em regiões onde haja disponibilidade de matérias-primas de baixo custo e, de preferência, próximas ao mercado consumidor.

- Técnica: cada matéria-prima apresenta características distintas, dependendo do vegetal ou do resultado da mistura de vários resíduos em dada área; assim, fazem-se necessários conhecimentos técnicos e inovações tecnológicas para coleta, secagem, moagem e classificação dos materiais, de modo a conseguir-se homogeneidade, qualidade e eficiência.

- Econômica: a produção dos briquetes necessita de investimento inicial em equipamentos (moinhos, secadores e briquetadeiras), o que requer linhas de crédito específicas, bem como estudos prospectivos do mercado atual e futuro para o negócio.

3.4. Propriedades físicas, químicas e energéticas da biomassa

3.4.1. Umidade, densidade e granulometria

O 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 & RENDEIRO, 2008).

A umidade pode ser considerada uma das características mais relevantes ao se utilizar um material lignocelulósico para a geração de energia, tanto em processos termoquímicos, quanto em processos físicos como a densificação para produção de pellets e briquetes. (SOUZA, 2010).

Garcia (2010) afirma que elevados teores de umidade acarretam baixo poder calorífico, perdas de energia, baixa ignição e durabilidade, e menor tempo de estocagem. Com a redução do teor de umidade pode ocorrer redução do custo de transporte, agregando valor ao combustível.

Segundo Quirino & Brito (1991), a principal característica que determina a qualidade de um briquete é a sua densidade aparente, pois é a partir desta propriedade que se determina a quantidade de energia acumulada neste material com volume definido, ou a densidade energética (Mcal/m³). Ela exprime a quantidade de massa contida num determinado volume de material e é de grande importância para a caracterização da biomassa (SILVA, 2001).

Conhecer a granulometria do resíduo é importante pois quanto menor o tamanho da partícula, maior é a área superficial da mesma (PEREIRA et al., 2009). Segundo Kaliyan & Morey (2009) o tamanho das partículas é um influenciador importante da durabilidade e resistência dos briquetes, sendo que menores partículas facilitam a união das mesmas, diminuindo os espaços vazios entre elas e proporcionando maior densidade aparente.

Por meio da classificação da granulometria obtêm-se frações em peso de cada dimensão característica das partículas que compõem a biomassa. A análise granulométrica da amostra de partículas é realizada utilizando-se um sistema de peneiras padronizado (SÁNCHEZ, 2010).

3.4.2. Teor de voláteis, cinzas e de carbono fixo

Através da análise imediata é possível obter os teores de materiais voláteis, cinzas e, por diferença, o carbono fixo.

O teor de voláteis é a parte gasosa da biomassa (incluindo umidade) que é liberada no aquecimento e/ou combustão. Ele interfere na ignição, pois quanto maior o teor de voláteis maior será a reatividade e conseqüentemente a ignição (MCKENDRY, 2002; KLAUTAU, 2008). Para Cardoso (2010), os materiais voláteis são as substâncias desprendidas da madeira, como os gases, durante a carbonização e/ou queima. Na combustão da biomassa ocorre primeiramente a evaporação da umidade, posteriormente ocorre a combustão dos componentes voláteis (SILVA, 2001).

Para Nogueira (2007), cinzas são as substâncias inorgânicas, que não entram em combustão, e uma alta concentração pode ocasionar a diminuição do poder calorífico, perda de energia e afetar a transferência de calor.

O teor de carbono fixo é a massa de carbono restante após a liberação de compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de umidade, responsável pela formação da massa amorfa (MCKENDRY, 2002; SANTOS, 2010). Para Cardoso (2010) seu rendimento apresenta uma relação diretamente proporcional aos teores de lignina, extrativos e inversamente proporcional ao teor de holocelulose.

3.4.3. Teores de Carbono, Hidrogênio, Oxigênio, Nitrogênio e Enxofre

A partir da análise elementar são determinados os teores de carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), e enxofre (S), dos quais os elementos de maior contribuição para o poder calorífico são o carbono e hidrogênio (PAULA, 2010).

Também fornece a razão entre as populações de átomos de hidrogênio/carbono e oxigênio/carbono, relações importantes para o cálculo do Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI)(NOGUEIRA & RENDEIRO, 2008).

3.4.4. Poder calorífico e densidade energética

O poder calorífico é uma propriedade importante na avaliação de combustíveis, é a quantidade de calor gerado pela unidade de massa ou de volume de um combustível submetido ao processo de combustão. Indica o potencial de produção de energia por unidade de massa e é expresso em cal/g ou kcal/kg e pelo sistema internacional j/g ou kj/kg, sendo subdividido em superior, inferior e útil (GONÇALVES, 2010; DIONISIO, 2017).

O Poder Calorífico Superior (PCS) considera o calor de vaporização da água ocorrido durante este processo, e o inferior (PCI) é calculado subtraindo a energia de condensação da água do calor de reação. O Poder Calorífico Útil (PCU) é a quantidade de calor liberada pela queima, com a água em seu estado gasoso, sendo descontada a energia necessária para evaporar a água referente à umidade da madeira; desta forma, quanto mais seco estiver o material maior será a quantidade de calor disponível para o uso (CRISP, 1999; LIMA, 2010; NOGUEIRA & RENDEIRO, 2008).

Segundo Pinheiro et al. (2005) a densidade energética é a propriedade que avalia o desempenho da biomassa como combustível e é definida como o produto entre poder calorífico útil e a densidade aparente.

O uso do poder calorífico útil é explicado por Souza (2014), que afirmou que a utilização do PCS ou PCI para o cálculo da densidade energética deve ser compatibilizada pelo uso da densidade em condição seca, já que são determinadas para uma amostra seca de biomassa. Dessa forma, a condição mais precisa em relação ao conteúdo energético para briquetes é o uso do poder calorífico útil e a densidade aparente.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Característica do resíduo

O resíduo de malte foi obtido de uma produção artesanal de cerveja no Distrito Federal. O bagaço do malte era proveniente da seguinte receita (Tabela 2), onde os três tipos de malte foram misturados para produção da cerveja.

Tabela 2 - Tipos de malte utilizados na produção da cerveja artesanal.

Tipo de malte	Quantidade (kg)
Malte Pilsen	7,00
Malte Carared – 45 EBC	1,00
Malte Caramunich Tipo I – 85 EBC	1,00

EBC: European Brewing Convention – Escala europeia que classifica a cor da cerveja e do malte. A cerveja ou o malte é considerado claro se tiver a cor correspondente a menos de 20 unidades EBC, e é considerado escuro o que tiver cor correspondente a 20 unidades EBC ou mais (BEER&BIER, 2013).

4.2. Obtenção e preparo dos resíduos

O resíduo apresentava alto teor de umidade - por volta de 200% (Figura 4). O ideal seria o material ser seco ao ar livre, porém devido a rápida ação de fungos, ele então foi seco em estufa no laboratório de Tecnologia de Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da UnB (EFL/UnB) com temperatura de 70C°, após seco foi levado para o Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Serviço Florestal Brasileiro (SFB), vinculado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) para realização das análises e briquetagem.



Figura 4 - Resíduo cervejeiro úmido.
Fonte: A autora (2018)

4.3. Determinação do teor de umidade

O teor de umidade (TU) foi calculado segundo a norma NBR 7190 (ABNT, 1977) em função da relação entre a massa úmida e a massa seca, conforme Equação 1. Para verificar a massa, foi utilizada uma balança Eletronic Balance 2000 com sensibilidade 10^{-2} g (Figura 5).

$$U(\%) = \frac{mu - ms}{ms} * 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

U = teor de umidade (%);

mu = massa úmida (g);

ms = massa seca a 0% de umidade (g).



Figura 5 - Eletronic Balance 2000
Fonte: A autora (2018)

4.4. Análise Granulométrica

A análise granulométrica baseou-se na norma NBR NM 248 (ABNT, 2003) para determinar a composição granulométrica dos resíduos, ou seja, determinar a faixa de tamanho das partículas presentes no resíduo, expresso por uma porcentagem do peso total colocado, inicialmente, nas peneiras.

As peneiras da série TYLER utilizadas apresentavam diferentes diâmetros de abertura (1/2; 3/8; 1/4; 2,5; 5; 6; 7; 8; 10; 12; 14; 15; 18; 20; 24; 25; 32; 35 Mesh) e foram encaixadas uma a uma, com abertura de malha em ordem decrescente do topo para a base. Como o agitador suporta 6 peneiras por vez, as peneiras foram divididas em 3 grupos.

A massa da amostra foi de aproximadamente 300g de material à 9% de umidade, que em seguida foi cuidadosamente colocada sobre a peneira superior e ficou em agitação mecânica com vibração de 100% por um período de 30 minutos. Após este tempo, as peneiras foram limpas utilizando pincel e o material recolhido de cada uma foi pesado. O resíduo com menor granulometria era transferido para um outro grupo de peneiras e assim todo o processo de classificação era repetido com peneiras mais finas, até que o material restante no fundo fosse mínimo. As análises foram realizadas com o auxílio do Agitador eletromagnético da marca BERTEL (Figura 6).



Figura 6 – Agitador Eletromagnético com um grupo de peneiras.
Fonte: A autora (2018)

4.5. Análise imediata

A análise imediata foi realizada com o intuito de caracterizar as amostras energeticamente, avaliando o teor de material volátil, teor de cinzas e teor de carbono fixo de acordo com a metodologia utilizada pelo Laboratório de Pesquisas Florestais (LPF), tendo como base a norma NBR 8112/86 (ABNT, 1986).

- **Teor de voláteis**

Para a determinação do teor de materiais voláteis, seguiu-se os seguintes passos:

- a) Pesou-se cerca de 1,0 g do material com granulometria menor que 60 mesh seco em estufa a 0% de umidade;
- b) Colocou-se o material em cadinho de cerâmica com tampa, previamente seco e tarado;
- c) Aqueceu-se previamente o forno mufla a $900 \pm 10^{\circ}\text{C}$ e colocou-se o cadinho com o material tampado sobre a porta da mufla aquecida durante 3 minutos (Figura 7);

- d) Colocou-se o cadinho no interior da mufla e fechou-se a porta, deixando-o por 7 minutos;
- e) Retirou-se a amostra da mufla, que esfriou no dessecador e foi pesada.

Foi realizada em duplicada e o teor de voláteis foi calculado de acordo com a Equação 2.

$$\text{TMV}(\%) = \frac{m_2 - m_3}{m} * 100 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

TMV = teor de material volátil (%);
m = massa da biomassa seca (g);
m2 = massa da amostra seca + cadinho (g);
m3 = massa do cadinho após mufla a 900°C (g).



Figura 7 - Forno mufla com as duas amostras para ensaio de teor de voláteis.
Fonte: A autora (2018)

- **Teor de Cinzas**

Para a determinação do teor de cinzas, adotou-se os seguintes passos:

- a) Pesou-se 2,0 g do material com granulometria menor que 60 mesh secos em estufa a 0% de umidade;
- b) Colocou-se o material em cadinho de cerâmica, previamente seco e tarado;
- c) Colocou-se o cadinho no interior da mufla, fechou a porta, deixando-o por 5 horas a $700 \pm 10^\circ\text{C}$ (Figura 9);
- d) Retirou-se a amostra da mufla, que esfriou no dessecador e foi pesado.

Foi realizada em triplicata e o teor de cinzas foi calculado de acordo com a Equação 3.

$$\text{TCZ}(\%) = \frac{m_1 - m_0}{m} * 100 \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

TCZ = teor de cinzas (%);

m_0 = massa do cadinho (g);

m = massa da amostra seca (g);

m_1 = massa do cadinho após mufla a 700°C (g).



Figura 8 - Triplicatas para ensaio de teor de cinzas dentro da mufla.

Fonte: A autora (2018)

- **Teor de Carbono Fixo**

Para encontrar o teor de carbono fixo foi utilizada a Equação 4.

$$\text{TCF}(\%) = 100 - (\text{TCZ} + \text{TMV}) \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

TCF = Teor de carbono fixo (%);

TCZ = teor de cinzas (%);

TMV = teor de material volátil (%).

4.6. Análise Elementar

Para realização da análise elementar o material foi enviado para o Instituto de Química da Universidade de Brasília, para determinação dos teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio presentes na amostra.

Com o resultado do hidrogênio, foi possível calcular o poder calorífico inferior, para calcular a densidade energética.

4.7. Determinação do Poder Calorífico

A determinação do Poder Calorífico Superior (PCS) seguiu a norma ABNT 8633/84 (ABNT,1984), utilizando um Calorímetro modelo PARR 6400 (Figura 9). Os ensaios foram feitos em duplicata e o PCS considerado foi aquele obtido pela média entre os resultados de dois ensaios cujos valores não ultrapassaram 29 cal/g.



Figura 9 – A) Bomba calorimétrica; B) Peletas para ensaio de poder calorífico
Fonte: A autora (2018)

Foi determinado o Poder Calorífico Inferior (PCI), subtraindo-se o calor de vaporização da água, conforme a equação 5.

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 600((9 * \text{H})/100) \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

PCI = Poder Calorífico Inferior (Kcal/kg⁻¹);
PCS = Poder Calorífico Superior (Kcal/kg⁻¹);
H = teor de hidrogênio (%).

Por fim, foi determinado o Poder Calorífico Útil (PCU), levando em consideração o teor de água da biomassa, calculando conforme feito por Souza & Vale (2016) (Equação 6).

$$\text{PCU} = \text{PCI} (1 - \text{Ubu}) - 600 \text{Ubu} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

PCU = Poder Calorífico Útil (Kcal/kg⁻¹);
PCI = Poder Calorífico Inferior (Kcal/kg⁻¹);
Ubu = Teor de Umidade da amostra em base úmida (%)

4.8. Confeção dos briquetes

Os briquetes foram confeccionados no Setor de Energia do LPF/SFB, utilizando uma prensa briquetadeira da marca Lippel modelo LB – 32. Para cada briquete confeccionado, foram utilizados 40 gramas de biomassa.

4.8.1. Ensaios Pilotos

Para definir os parâmetros a serem utilizados na produção de briquetes foram feitos pré-testes utilizando diferentes combinações de temperatura e pressão.

Também foi feito um teste empírico de queda, no qual os briquetes caíram de uma altura de 3,76 metros para verificar seu comportamento e resistência. O critério de escolha dos parâmetros dos tratamentos baseou-se nesse teste e também no pré-teste onde visualmente o briquete apresentava boa estrutura e tivesse sido utilizado os menores valores de temperatura e pressão.

Segue abaixo na Tabela 3 os parâmetros de todos os testes realizados e algumas fotos mostrando os resultados (Figura 10):

Tabela 3 - Parâmetros ensaiados nos testes pilotos

Temperatura (°C)	Pressão (kgf/cm²)	Tempo de compactação	Umidade
120	100	5 min	4%
120	70	5 min	4%
120	40	5 min	4%
105	40	5 min	4%
90	40	5 min	4%
150	40	5 min	9%
120	100	5 min	9%
120	40	5 min	9%
90	100	5 min	9%
90	40	5 min	9%
120	40	2 min	9%
120	100	1 min	9%
145	100	30 seg	9%
120	100	30 seg	9%
120	60	30 seg	9%
120	40	30 seg	9%
105	100	30 seg	9%
90	100	30 seg	9%
90	40	30 seg	9%

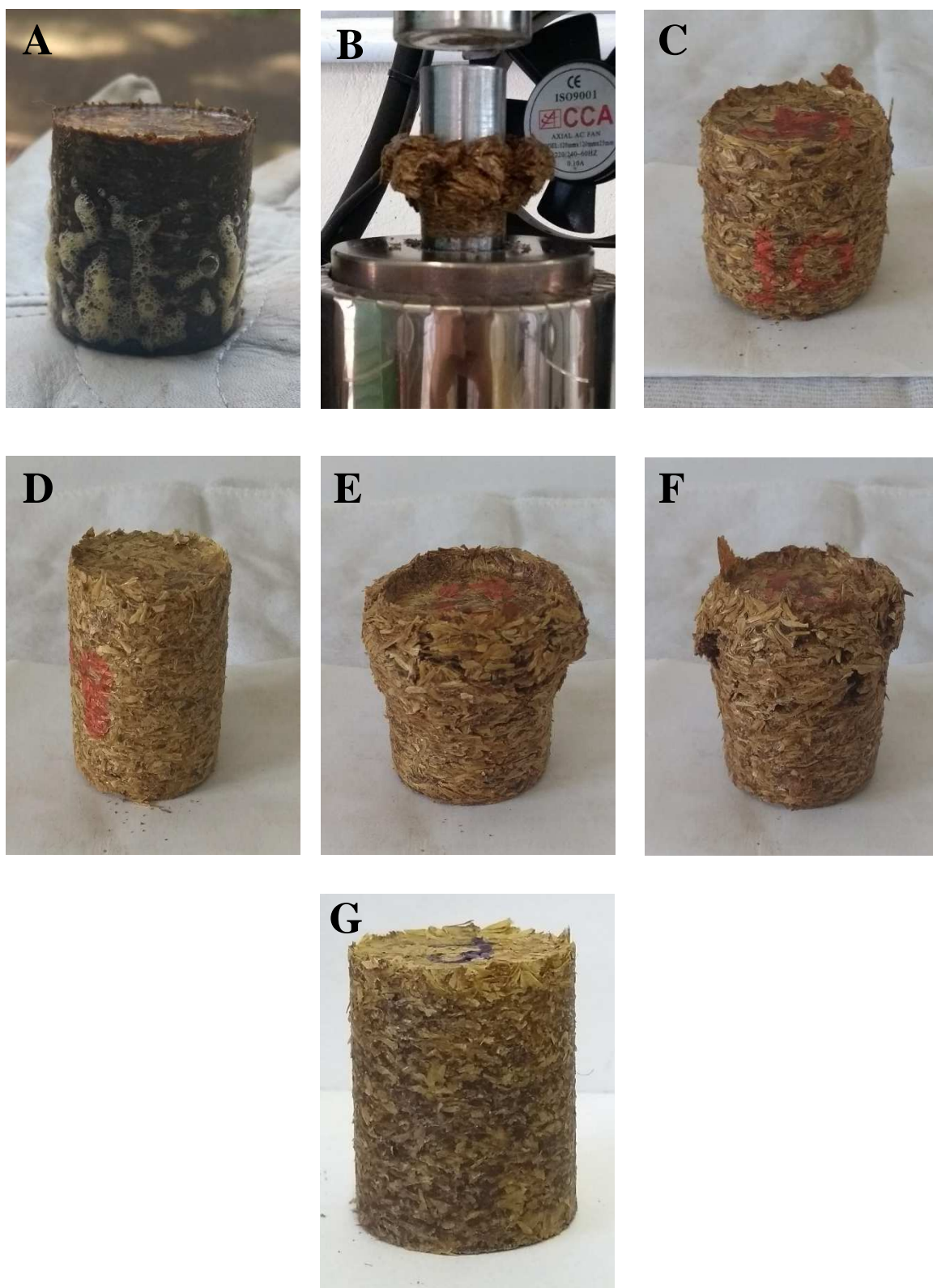


Figura 10- Briquetes dos ensaios pilotos, com suas respectivas pressões, temperaturas, teor de umidade, tempo de compactação : A) 70 kgf/cm², 120 C°, 4% , 5 minutos; B) 40 kgf/cm² 120 C°, 9%, 5 min.; C) 40 kgf/cm² 90 C°, 9%, 5 min.; D) 100 kgf/cm² 90 C°, 9%, 30 seg.; E) 100 kgf/cm² 120 C°, 9%, 1 min.; F) 40 kgf/cm² 120 C°, 9%, 2 min.; G) 100 kgf/cm² 120 C°, 9%, 30 seg. .

Fonte: A autora (2018)

4.9. Produção dos briquetes

Os briquetes com o parâmetro escolhido foram confeccionados com temperatura de 90°C e a pressão do manômetro de 40 kgf/cm², e o tempo de confecção de cada briquete foi em média de 30 segundos para compactação e 10 minutos para resfriamento para granulometria mais grossa, e por volta de 15 minutos para as granulometrias mais finas.

Para produção dos briquetes utilizou-se do material *in natura* (partícula grossa) e a partir da classificação granulométrica do pó obtido do moinho de faca, foram escolhidas duas faixas de granulometria: abaixo de 14 Mesh e abaixo de 35 Mesh. Assim o delineamento experimental considerou 3 tratamentos com 15 repetições para o tratamento *in natura* e 10 para os outros dois tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4 - Tratamentos realizados no trabalho

Tratamento	Repetições	Partícula
1	15	<i>In natura</i>
2	10	< 14 Mesh
3	10	< 35 Mesh

4.10. Determinação da densidade aparente

A densidade aparente (DA) dos briquetes foi determinada pelo método estereométrico, ou seja, pela relação da massa/volume. O volume de cada briquete foi determinado pela fórmula do cilindro, realizando duas medições de altura e duas medições de diâmetro em dois pontos - base e topo -, utilizando-se um paquímetro digital com sensibilidade de 10⁻² mm. O volume é calculado com a média das alturas e dos diâmetros para cada briquete, e a massa determinada com auxílio de uma balança com sensibilidade de 10⁻² g.

4.11. Determinação da resistência mecânica

Para avaliar a resistência mecânica dos briquetes, foi realizado o ensaio de compressão em uma máquina universal para ensaios Modelo EMIC 30.000, seguindo a norma COPANT 30:1-011 (COPANT, 1971) para a compressão no sentido perpendicular, ou seja, no sentido diametral do briquete (Figura 11). A velocidade de carregamento foi de 0,3 mm/min.



Figura 11 - Ensaio de resistência à compressão dos briquetes.
Fonte: A autora (2018)

4.12. Determinação da densidade energética

A densidade energética (DE) foi obtida pelo produto entre o poder calorífico útil e a densidade aparente, conforme a equação 7.

$$DE = PCU * DA \qquad \text{Equação 7}$$

Onde:

DE= Densidade energética (Kcal/m³);

PCU= Poder calorífico útil (kcal/kg);

DA = Densidade aparente (kg/m³).

4.13. Análise Estatística

Para a análise estatística foi feita uma análise de variância, ao nível de 5% de significância para verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos realizados. Para os tratamentos com diferença significativa foi realizada a comparação de médias por meio do teste de Tukey a 95% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de teor de umidade, granulometria, análise imediata, análise elementar e poder calorífico são do material *in natura* e os valores de densidade aparente, densidade energética e resistência mecânica são apresentados correspondente aos tratamentos. E serão apresentados segundo os itens:

5.1. Teor de umidade

Inicialmente o material possuía por volta de 200% de umidade, após a secagem o material atingiu 4,16% de umidade, porém segundo Morais et al. (2006), é importante que o teor de umidade das partículas a serem briquetadas estejam entre 8% e 15%. Sendo assim, o resíduo foi levado para sala de climatização até atingir cerca de 9% de umidade, tendo em vista que nesse valor, o resíduo estaria de acordo com o indicado na literatura. A umidade é um item muito importante quando se avaliam biomassas como fonte de bioenergia. (VALE et al., 2000).

Seria ideal ter realizado um acompanhamento do material dentro da estufa, para que este não viesse a secar demasiadamente necessitando ser levado a sala de climatização.

5.2. Análise Granulométrica

Na figura 12 está o resultado da classificação granulométrica do resíduo de malte de cevada *in natura*, mostrando a porcentagem de resíduo em cada malha de abertura.

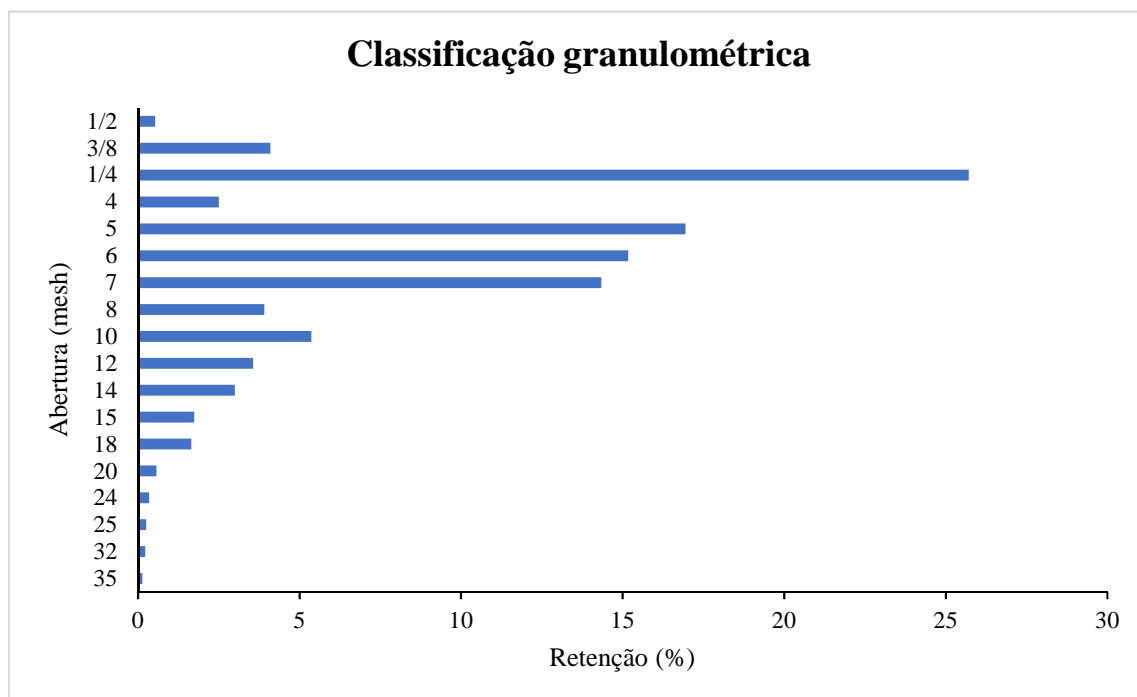


Figura 12 - Classificação granulométrica do resíduo *in natura*.

A seguir fotos das peneiras (Figura 13) com o material residual em cada uma:



Figura 13 - Material retido em cada peneira, com suas respectivas aberturas.
Fonte: A autora (2018)

O material ficou retido em quantidades distribuídas, sendo que se encontra em sua maior parte acima de 2mm, sendo a peneira de 6,35mm a que mais reteve material. Na peneira de 12,7mm e 9,59mm se encontra um material agregado, onde as partículas estavam aglomeradas umas com as outras. E mesmo que menos expressivo, constatou a retenção dos resíduos em peneiras mais finas, e também no fundo.

5.3. Análise Imediata

Os valores médios de teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo são apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Valores médios de teor de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo do resíduo *in natura*.

Análise	Unidade	Valores
Teor de materiais voláteis	%	78,22
Teor de cinzas	%	3,35
Carbono Fixo	%	18,41

O teor de materiais voláteis é a parte da biomassa que evapora como um gás, é a fração que volatiliza durante o aquecimento, segundo McKendry (2002) está relacionado com a reatividade da biomassa, logo se refere a facilidade de ignição do material, por conta da volatilização de substâncias durante a queima.

Brito & Barrichello (1982) afirmaram que combustíveis com altos valores de carbono fixo apresentam uma queima mais lenta, implicando em maior tempo de residência nos fornos em comparação com outros que tenham menor teor de carbono fixo.

Já as cinzas são substâncias que não entram em combustão, logo valores menores são esperados, conforme Quirino (2002) um baixo teor de cinzas garante maior resistência ao briquete além de um poder calorífico mais elevado.

Os valores encontrados na Tabela 5 estão de acordo com Gonçalves et.al (2014), que estudaram a produção e caracterização do carvão ativado granulado de malte de cevada, e encontraram na análise imediata do bagaço de malte seco os valores de cinzas (3,8%) e de material volátil (73,18%). KNISS et al. (2015) realizaram uma análise química do bagaço de cevada e obtiveram teores de cinzas de 3,87%. Os resultados dos dois trabalhos são semelhantes ao alcançado neste trabalho.

Já Cordeiro (2011), que estudou a capacidade energética do bagaço de malte oriundo de cervejarias em diferentes níveis de umidade para fins energéticos, encontrou valores

percentuais de materiais voláteis (95,95%), cinzas (0,74%) e de carbono fixo (3,31%) contrastando com os valores observados neste trabalho, Isto pode ser explicado pela diferença da composição do bagaço, pois diversos fatores podem ser alterados, como a variedade da cevada, a secagem e torra do grão, os grãos adicionados ou o processo empregado na cervejaria.

Em relação a outros resíduos, Dantas et al. (2012) afirmaram que os briquetes produzidos geralmente no país têm teores de voláteis de 81%, cinzas de 1,2% e carbono fixo de 18,8%, valores próximos aos obtidos neste trabalho.

Barros (2012) briquetou diferentes resíduos agrícolas, e encontrou um teor de materiais voláteis para os resíduos de casca de laranja e casca de mandioca, respectivamente, de 76,42% e 73,34% e para teores de cinza de 4,53% e 7,51%. Silva (2007) afirma que o teor de cinzas de madeira de eucalipto está em torno de 1%.

Conforme os valores obtidos nas propriedades citadas é possível observar que o malte de cerveja se encontra dentro de uma faixa do que foi encontrado na literatura. Uma opção viável para reduzir o teor de cinzas, na tentativa de chegar próximo ao valor de 1% encontrado na madeira de eucalipto, seria misturar o material com serragem, e conseqüentemente aumentar o poder calorífico do material.

5.4. Poder Calorífico

No ensaio realizado no Instituto de Química da Universidade de Brasília foi fornecido os valores da análise elementar apresentado na tabela 6.

Tabela 6 - Valores obtidos na análise elementar

Elemento	Unidade	Resíduo do bagaço de malte
Carbono	%	30,65
Hidrogênio	%	4,29
Nitrogênio	%	2,44

Dionizio (2017) estudou alguns resíduos para briquetar e realizou a análise elementar onde obteve valores de hidrogênio para os seguintes resíduos: palha de café (5,34%); sabugo de milho (6,03%). Na literatura encontra valores para madeira em torno de 6%. Todos os valores são superiores ao encontrado neste trabalho, mas são valores próximos.

Os resultados de poder calorífico superior (PCS), poder calorífico inferior (PCI) e poder calorífico útil (PCU) estão apresentados na tabela 7. Para o cálculo do poder calorífico inferior foi utilizado o valor de hidrogênio da tabela 6.

Tabela 7 - Poder calorífico superior (PCS), poder calorífico inferior (PCI) e poder calorífico útil (PCU) do resíduo *in natura*.

Poder Calorífico	Unidade	Resíduo do bagaço de malte
PCS	kcal/kg ⁻¹	4854,88
PCI	kcal/kg ⁻¹	4623,22
PCU	kcal/kg ⁻¹	4109,52

Cordeiro (2011) estudou a capacidade energética do bagaço de malte oriundo de cervejarias em diferentes níveis de umidade para fins energéticos e encontrou valores médios de poder calorífico variando de 2656 kcal.kg⁻¹ a 5026 kcal.kg⁻¹, concordando com os resultados obtidos no presente estudo.

Segundo Dantas et al. (2012), os briquetes produzidos no país normalmente têm um poder calorífico superior de 4000 a 4800 kcal.kg⁻¹, e foi superado pelo valor obtido no trabalho, indicando a viabilidade do uso desse material para fins energéticos.

Souza (2014) realizou testes de poder calorífico superior, inferior e útil em pinus, tauari, cumaru, casca de arroz, bagaço de cana e torta de pinhão manso e verificou valores médios para o poder calorífico superior de resíduos florestais de 4521 kcal.kg⁻¹ e para os resíduos agrícolas de 3891 kcal.kg⁻¹. O PCI médio para os resíduos florestais foi de 4197 kcal.kg⁻¹ e para os resíduos agrícolas foi de 3567 kcal.kg⁻¹. Com relação ao PCU, a média dos valores para os resíduos florestais foi de 3829 kcal.kg⁻¹ e dos resíduos agrícolas foi de 3194 kcal.kg⁻¹. Estes valores foram todos superados pelos encontrados neste trabalho.

Segundo Brito & Barrichelo (1979) pode-se encontrar valores de PCS desde 3.000 kcal.kg⁻¹ até 5.400 kcal.kg⁻¹ em madeira, tendo como valor médio 4.200 kcal.kg⁻¹, comparando os valores encontrados observa-se que o bagaço de malte se encontra dentro do intervalo dos materiais utilizados na produção de energia conforme os estudos citados, confirmando assim o potencial do resíduo para produção de energia.

5.5. Confeção dos briquetes

Os briquetes confeccionados (Figura 14) apresentaram boa estrutura, alguns apresentaram rachaduras superficiais; o tratamento 2, de granulometria mediana, foi o que mais apresentou essa característica, possivelmente devido à baixa pressão e temperatura utilizada. O uso de temperatura e pressão mais elevadas poderia resolver tal efeito. Percebeu-se também que no tratamento 2 o material do briquete soltava mais fácil que nos outros, esfarelando superficialmente.

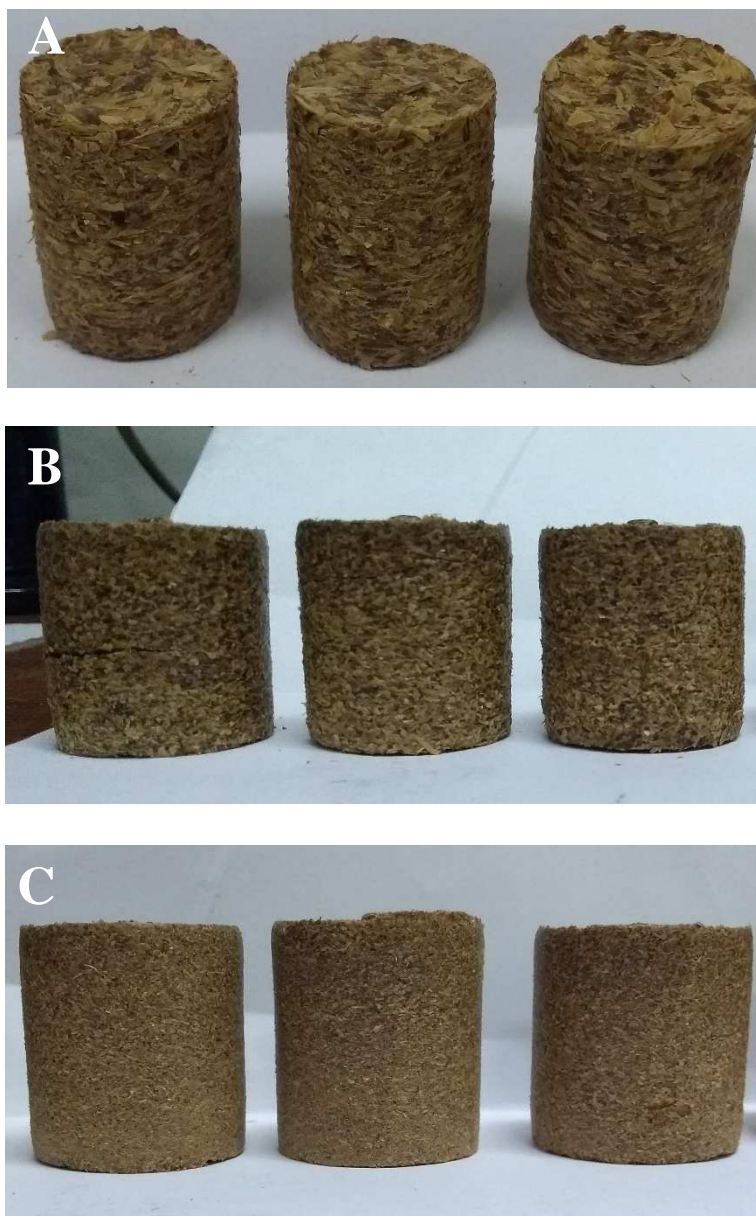


Figura 14 - Briquetes com diferentes granulometrias. A) *In natura*; B) <14 Mesh; C) < 35 Mesh.
 Fonte: A autora (2018)

5.6. Características energéticas e mecânicas dos briquetes

Os valores da densidade aparente correspondentes aos tratamentos estão na tabela 8, eles foram utilizados para o cálculo da densidade energética:

Tabela 8 - Valores médios para densidade aparente

Tratamento	Densidade aparente (G.cm ⁻³)
<i>In natura</i>	1.19
< 14 Mesh	1.18
< 35 Mesh	1.21

Na tabela 9 estão as médias de densidade energética (Gcal.m^{-3}) e a resistência à compressão perpendicular (kgf.cm^{-2}) dos briquetes de bagaço de malte de cevada.

Tabela 9 - Valores médios para densidade energética e a resistência mecânica

Tratamento	Densidade energética (Gcal.m^{-3})	Resistência Mecânica Kgf.cm^{-2}
<i>In natura</i>	4,90 a (3,48)	124,79 a (3,47)
< 14 Mesh	4,87 a (1,43)	102,95 b (5,50)
< 35 Mesh	4,99 a (1,05)	130,99 a (7,54)

Valores assinalados com letras diferentes, dentro da mesma coluna, diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. Os valores entre parênteses são referentes ao coeficiente de variação.

Na tabela 9 também é apresentado o coeficiente de variação, que fornece a variação dos dados obtidos em relação à média e, observa-se que o experimento teve controle satisfatório, pois apresentou baixos coeficientes de variação. Quanto menor for o valor do coeficiente de variação, mais homogêneos serão os dados, ou seja, menor será a dispersão em torno da média. (GARCIA, 1989).

Segundo Pinheiro et al. (2005), a densidade energética é a quantidade de calor produzida por unidade de volume a uma dada umidade, e é uma propriedade que avalia o desempenho da biomassa como combustível.

Os valores não diferiram significativamente quanto às três granulometrias analisadas, podendo-se aferir que não é necessário fazer a moagem para se obter um material com notável potencial energético; é possível utilizá-lo *in natura*.

Souza & Vale (2016) encontraram valores de densidade energética de briquetes de cumaru chegando a $4,67 \text{ Gcal m}^{-3}$ e de tauari com cerca de $4,51 \text{ Gcal m}^{-3}$; nos briquetes com bagaço de cana encontraram $4,33 \text{ Gcal m}^{-3}$ e na torta de pinhão manso chegaram a $4,14 \text{ Gcal m}^{-3}$.

Barros (2012) confeccionou briquetes com diferentes resíduos, em granulometrias próximas às usadas neste estudo, e os resultados de densidade energética para granulometria menor que 40 mesh foram: coco ($4,03 \text{ Gcal.m}^{-3}$); sabugo de milho ($4,15 \text{ Gcal.m}^{-3}$), castanha de maracujá ($4,46 \text{ Gcal.m}^{-3}$). Para granulometria menor que 12 mesh os resultados foram: coco ($4,19 \text{ Gcal.m}^{-3}$); sabugo de milho ($3,37 \text{ Gcal.m}^{-3}$), castanha de maracujá ($4,50 \text{ Gcal.m}^{-3}$).

Observa-se que os resultados obtidos pelos autores citados e os alcançados neste estudo são compatíveis e chegam a ser mais elevados que os valores encontrados na literatura,

mesmo para os resíduos madeireiros. Deste modo, infere-se que o resíduo estudado tem potencial energético e pode ser considerado uma alternativa de biomassa para geração de energia.

A resistência mecânica é uma característica importante na avaliação dos briquetes, pois, maiores valores de resistência viabilizam o transporte, empilhamento e armazenamento. Percebeu-se que o briquete cujo a granulometria era mais fina foi o mais resistente, já que partículas menores têm maior área de contato e se acomodam melhor, auxiliando na transferência de calor entre elas, conforme verificado por Souza (2014), porém eles não diferiram significativamente do material *in natura*. O briquete com granulometria mediana foi o que apresentou a menor resistência, diferindo significativamente dos outros dois tratamentos.

Possivelmente essa variação se deve a baixa temperatura e pressão, pois o mesmo autor citado anteriormente encontrou maiores valores de resistência em seus briquetes, com umidade próxima a 10%, quando se utilizou temperaturas mais elevadas, o mesmo fator observado por Barros (2012) que estudou a o efeito do tratamento térmico da madeira de diferentes espécies para produção de briquetes e observou que os maiores valores corresponderam a maior pressão estudada ($140,6 \text{ kgf.cm}^{-2}$), onde a carga variou de 130,3 a $139,07 \text{ kgf.cm}^{-2}$.

A lignina é uma componente importante na produção de briquetes, assim como na resistência mecânica, pois atua como um ligante entre as partículas quando exposta às altas temperaturas. Mello (2014) obteve teores de lignina de 14,64% no bagaço de malte de cevada, Mello et al. (2013) obtiveram 26,13%, KNISS et al. (2015) encontraram 27,84% para o mesmo resíduo. Os valores variam entre si devido a heterogeneidade do material e do processamento. Em relação a outros resíduos, Dionizio (2017) obteve para casca de café um teor de lignina de 18,78%, palha de feijão 21,74%, e em resíduos madeireiros encontrou 31 e 33,89%, Trugilho et al. (2003) encontraram para resíduos madeireiros de eucalipto teores de 26,70 e 31,77 %.

Os teores de lignina do bagaço de malte de cevada variaram entre os trabalhos, porém não diferem tanto de outros resíduos estudados e que são utilizados para fabricar briquetes Por isso é importante conhecer o teor de lignina do material que está sendo trabalhado, já que ela tem influência na resistência do material e no poder calorífico e, em consequência, na densidade energética, sendo de grande importância na escolha preliminar de combustíveis de biomassa para geração de bioenergia (JARA, 1989; PROTÁSIO, 2011; SOUZA, 2014).

5.7. Considerações finais

Com a finalização e análise dos dados obtidos no trabalho é notável o potencial energético que o resíduo utilizado apresenta. E visto que a briquetagem desse material é possível com baixa temperatura e pressão, torna o processo mais econômico, pois menos energia será utilizada na produção dos briquetes. Além do mais, o material é o principal resíduo da indústria cervejeira e está sempre disponível. É uma forte alternativa, que precisa ser mais explorada e estudada.

6. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que os briquetes produzidos a partir do resíduo provenientes da produção de cerveja tem grande potencial para a geração de energia. O material apresentou as propriedades energéticas (poder calorífico superior, inferior e útil e teores de carbono fixo, de materiais voláteis e de cinzas) favoráveis à briquetagem.

A granulometria não interferiu de maneira significativa em relação a densidade energética, em contrapartida afetou a resistência mecânica.

O material é briquetável com baixa temperatura e pressão, o que por um lado representa uma economia de recursos e energia; porém afetou a resistência mecânica. O estudo revelou uma alternativa interessante para o aproveitamento do bagaço de malte de cevada, podendo contribuir para uma gestão adequada dos resíduos provindos das indústrias cervejeiras, assim como indicar materiais alternativos para a produção de briquetes e que acabam por contribuir em diferentes vertentes, econômicas, sociais e ambientais

7. RECOMENDAÇÕES

Apesar dos dados encontrados serem bons indicativos do potencial energético do resíduo, requer-se mais estudos para este material, como:

- Testar outras pressões e temperaturas para fabricar os briquetes, assim como outros teores de umidade;
- Realizar análise química, para verificar o teor de lignina do material;
- Produzir briquetes com o resíduo misturado com serragem de madeira, com o intuito de aumentar o teor de lignina do material e diminuir o teor de cinzas;
- Realizar uma análise da viabilidade econômica do uso desse material.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. Cevada. Disponível em http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000girlwnqt02wx5ok05vadr12ap522l.html Acesso em : 19 nov. 2017.

ARAÚJO, M, J. Fundamentos de agronegócios. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8112: Análise imediata. Rio de Janeiro, 1986

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8633: Carvão vegetal: determinação do poder calorífico, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003

BARROS, L. O. Densidade energética de briquetes produzidos a partir de resíduos lignocelulósicos. Monografia apresentada ao curso de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. Brasília-DF, 2012. 37f.

BEER & BIER. Entendendo a coloração da cerveja. Disponível em: <https://www.beerbier.com.br/blog/entendendo-a-coloracao-da-cerveja/>. Acesso em 20 jun 2018.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA (Resolução nº 12, de 1978. Normas técnicas especiais do Estado de São Paulo, revistas pela CNNPA, relativas a alimentos (e bebidas), para efeito em todo território brasileiro. Diário Oficial União da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. 1977.

BRAZILIAN ASSOCIATION INDUSTRY BIOMASS AND RENEWABLE ENERGY. Brazil Status Report 2012: bioenergy – biomass – renewable energy. Disponível em: <http://abibbrasil.wix.com/brazilianassociationbiomass#!>. Acesso em: 18 nov. 2017.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L.E.G. ; Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia. Circular Técnica N°52. Instituto de Pesquisa Florestais. 1979

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Aspectos Técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. 2º Seminário de Abastecimento Energético Industrial com Recursos Florestais; p.101-137; São Paulo; 1982.

CARDOSO, M. T. Desempenho de um sistema de forno-fornalha para combustão de gases na carbonização da madeira. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – Minas Gerais, 2010.

COMITRE, V. a Questão Energética E O Padrão Tecnológico Da Agricultura Brasileira. Informações Econômicas - SP, v. 25, n. 12, p. 29–34, 1995.

COPANT - Comissão Panamericana de Normas Técnicas. Ensaio para madeira. Compressão perpendicular às fibras COPANT 30:1-011. 1971.

CORDEIRO, L.G. Caracterização do bagaço de malte oriundo de cervejarias. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Mossoró – RN, v.7, n.3, p. 20-22, 2012.

CORDEIRO, L.G. Caracterização e viabilidade econômica do bagaço de malte oriundo de cervejarias para fins energéticos. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa – PB. 2011.

COUTO, L. C.; COUTO, L.C; WATZLAWICK, L.F.; CÂMARA, D. Vias de valorização energética da biomassa. Biomassa & Energia, v. 1, n. 1, p. 71–92, 2004.

CRISP, A. Wood residue as an energy source for the forest products industry. The Australian National University. 1999.

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. Goiânia/GO, 2012.

DIAS, J.M.C.S; SOUZA, D.T; BRAGA, M; MIRANDA, C.H.B; BARBOSA, P.F.D; ROCHA, J.D. Produção de briquete e pellets a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais - Brasília, DF, Embrapa Agroenergia, 2012.

DIONIZIO, A. F. Aproveitamento energético de resíduos agroindustriais no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM – 289/2017, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 97f.

FERRINHO, A. M.; TODA, B. M.; UTEMBERGUE, B. L.; PEREIRA, A. S. C. Resíduos de cervejaria: uma alternativa na nutrição animal brewer: an alternative for animal nutrition. III Simpósio de Sustentabilidade e Ciência Animal. 2003.

GARCIA, C.H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. CIRCULAR TÉCNICA Nº 171. Novembro, 1989.

GARCIA, D. P. Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2010.

GENTIL, L.V.B. Tecnologia e Economia do Briquete de Madeira. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal, Publicação EFL TD - 009/2008. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília. Brasília. DF, 2008.195f.

GONÇALVES, G. C.; NAKAMURA, P. K.; VEIT M. T. Produção e caracterização de carvão ativado obtido a partir dos resíduos da indústria cervejeira. X Encontro Brasileiro sobre Adsorção. Guarujá-SP. 2014.

GONÇALVES, J. E. Avaliação Energética e Ambiental de Briquetes produzidos com resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

GONÇALVES, J. E. Caracterização química e energética de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2006. 88f

GRAUER, A.; KAWANO, M. Boletim Informativo da Bolsa de Reciclagem, ano I, nº 5 – NOV/DEZ, 2001.

GROVER, C. Rise and Fall of US Barley. 2014. Disponível em <<http://drunkalchemist.blogspot.com.br/2014/05/rise-and-fall-of-us-barley.html>> Acesso em: 01 dez. 2017.

GROVER, P.D.; MISHRA, S.K. Biomass Briquetting: technology and practices, Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1996.

JARA, E.R.P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989.

KALIYAN, N.; MOREY, R. V. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. Biomass and Bioenergy. Oxford, GB. v. 33, n. 3, p. 337 – 359, 2009

KLAUTAU, J. V. P. Análise Experimental de uma Forno a lenha de Fluxo Concorrente Para Secagem de Grãos. 2008. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, PPGERHA, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2008.

KNISS, D.D.C.; VIEIRA, H.C.; GAA, A.Z.N.; RICARDO, G.C.; BALDUINO, A.; Alexandro B. da CUNHA, A. B. da. Análise química do bagaço de cevada para produção de painéis aglomerados. II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira. Belo Horizonte. 2015

LIMA, E. A. Alternativa para estimar o preço da madeira para energia. Comunicado Técnico. Embrapa Florestas, Colombo - PR, dezembro. 2010. 20p.

MATHIAS, T. R. S; de MELLO, P. P. M; SERVULO, E. F. C. Caracterização de resíduos cervejeiros. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis, SC. 2014.

MATTOS, C. Desenvolvimento de um pão fonte de fibras a partir do bagaço de malte. Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Alimentos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2010.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. Bioresource Technology, v. 83, n. 1, p. 37-46, 2002.

MELLO, L.R.P.F.; VERGÍLIO, R.M.; MALI, S. Caracterização Química e Funcional do Resíduo Fibroso da Indústria Cervejeira Anais do III Simpósio de Bioquímica e Biotecnologia. Número Especial v. 2, n. 3, p. 191-194, 2013

MELLO, V. S. de A. Determinação da composição do bagaço do malte de cevada e estudo das suas potenciais aplicações Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Química, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo. 2014. 80f.

MIGLIORINI, A. J. Desinficação de biomassa florestal. Série Técnica IPEF, v. 1, p. 0–9, 1980.

MINELLA, E.; WENDT, W.; DA LUZ, W.C. Recomendações técnicas para o cultivo da cevada cervejeira. Circular Técnica do Centro Nacional de Pesquisa do Trigo, Passo Fundo, n.1, p.1-23, 1981.

MORAIS, M.R; SEYE,O.; de FREITAS, K.T; RODRIGUES, M; dos SANTOS, E.C.S; SOUZA, R.C.R. Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação An. 6. Enc. Energ. Meio Rural 2006

NOGUEIRA, L.A.H., LORA, E.E.S.; Dendroenergia: fundamentos e aplicações. 2ª edição. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 199p. p 50-80

NOGUEIRA, M. F. M. Biomassa Energética: Caracterização da Biomassa. Palestra Proferida na I Escola de Combustão, Florianópolis – SC 2007.

NOGUEIRA, M.F.M.; RENDEIRO, G. Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. p. 52-62.

PAULA, L.E.R. Produção e avaliação e briquetes de resíduos lignocelulósicos. Dissertação (Mestrado). Lavras: UFLA, 2010.

PEREIRA, F. A.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; LÚCIA, R. M. D.; JÚNIOR, W. P.; BIANCHE J. J. Propriedades físico-químicas de briquetes aglutinados com adesivo de silicato de sódio. Floresta e Ambiente. v.16, n.1, p. 23 - 29, 2009.

PINHEIRO, G. F.; RENDEIRO, G.; PINHO, J. T. Densidade energética de resíduos vegetais. Biomassa & Energia, v. 2, n. 2, p. 113-123. 2005.

PORTAL BRASIL. Brasil é o terceiro no ranking mundial de produção de cerveja. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2017/08/brasil-e-o-terceiro-no-ranking-de-producao-mundial-de-cerveja>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

QUIRINO, W. F. Briquetagem de resíduos ligno-celulósicos. Brasília: LPF, 1991. (Circular Técnica 20).

QUIRINO, W. F. Utilização Energética de Resíduos Vegetais – MMA, DIREF, LPF. Brasília, 2002.

QUIRINO, W.F.; BRITO, J.O. Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal. Brasília: IBAMA / LPF- Laboratório de Produtos Florestais, 1991. (Série Técnica, n.13).

ROSA, M. F. ; SOUZA FILHO, M S. M. ; FIGUEIREDO, M. C. B. ; MORAIS, J. P. S. ; SANTAELLA, S.T. , LEITÃO, R.C. Valorização de resíduos da agroindústria. II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais –Foz do Iguaçu, PR Volume I – Palestras 98. 2011.

SÁNCHEZ, C. G. Tecnologia da gaseificação de biomassa. Campinas, SP. Editora: Átomo, 2010, p. 189

SANTOS, R. Cavalcante dos. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de Eucalipto. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010. 159 p.

SIGOLO, A. O poder do malte. 2010. Disponível em <<https://cervejaartesanal.wordpress.com/2010/08/24/o-poder-do-malte/>> Acesso em: 01 dez. 2017.

SILVA NETO, E.S; POÇAS, M.D; GALINDO, M.V; CARVALHO, P.T; SAKANAKA, L.S; UENO, C. T. A produção de malte em pequena escala – uma alternativa aos cervejeiros artesanais. XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. FAURGS. Gramado, RS. 2016.

SILVA, A. M. N.; ALBUQUERQUE, J. L.; SILVA, E. S.; SANTOS-FILHO, D.; BARBOSA, W. B. A biomassa florestal (lenha) como insumo energético para os artesãos da cidade de Tracunhaém/PE. Custos e agronegócio online, v. 4, n. 3, 2008.

SILVA, D. Avaliação da eficiência energética em uma indústria de painéis compensados. 182f. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2001.

SILVA, D.A. Análise laboratorial para avaliação da qualidade de briquetes para fins energéticos para empresa Bripell.Fupez. Curitiba. 2007.

SOUSA, T. A., Desenvolvimento de briquetes autorredutores com resíduo de fundição e fibra da Palmeira. Dissertação de Mestrado Profissional em Materiais, Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda. Volta Redonda. 2012. 53f.

SOUZA, F. Avaliação da qualidade de briquetes produzidos com seis biomassas agroflorestais por métodos não destrutivos. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.TD - 48/2014, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014. 142f.

SOUZA, F. VALE, A. T. Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 36, n. 88, p. 405-413. 2016

SOUZA, M.M. Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita florestal e do processamento de *Pinus taeda* L. 2010. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. 77f.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MORI, F.A. Correlação canônica das características químicas e físicas de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. *Cerne*, Lavras, v.9, n 1, p.66-80, jan./jun. 2003.

UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Environmental Management in the Brewing Industry. UNEP Technical Report Series n° 33. UNEP. Paris, 1996.

URCHEI, M. A; RODRIGUES, J.D. Efeitos de potenciais de água no solo, em diferentes estádios fenológicos da cultura da cevada (*Hordeum vulgare* L.) *Sci. agric.* (Piracicaba, Braz.) vol.51, n.3, Piracicaba. Set./Dec. 1994.

VALE, A. T. do.; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C . M. de.; VEIGA, R. A. de A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill Ex- Maiden e *Acacia mangium* Willld em diferentes níveis de adubação. *Revista Cerne*, v. 6, n. 1, p. 83 - 88, 2000.

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

VIANA, L.G.; CRUZ, P.S. Reaproveitamento de resíduos agroindustriais. IV Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Cruz das Almas, Bahia – 13 a 16 de julho de 2016

ZUPPARDO, B. Uso da goma Oenogum para estabilidade coloidal e de espuma em cerveja. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros. Piracicaba, 2010. 115 f.