

Análise físico-química do produto e processo de pelletização da biomassa bagaço de cana-de-açúcar.

Leonardo Ferreira Pedroso de Almeida (UTFPR) leonardo.pedroso@pop.com.br

Antonio Vanderley Herrero Sola (UTFPR) sola@utfpr.edu.br

Jhon Jairo Ramirez Behainne (UTFPR) jhon@utfpr.edu.br

Resumo:

As propriedades de pellets são essenciais no estudo de desempenho em processos termoquímicos, tais como combustão, gaseificação e pirolise. Essas propriedades podem afetar aspectos relacionados ao transporte, estocagem, manuseio, conversão de energia, emissões no meio ambiente, bem como variáveis a serem controladas durante o processo de pelletização. Este artigo apresenta um estudo realizado em uma indústria brasileira de pellets de bagaço de cana-de-açúcar para a determinação das principais propriedades e variáveis do produto e processo de fabricação de pellet. O estudo também faz uma comparação dos resultados encontrados com normas internacionais de qualidade e comercialização de pellet de biomassa. Como resultados conclui-se que o pellet de bagaço de cana-de-açúcar não está em conformidade com todos os itens avaliados pelas normas, sendo necessária a criação de normas específicas regulamentadoras para a comercialização do pellet desta biomassa.

Palavras chave: Pellet de bagaço de cana-de-açúcar, biomassa, bioenergia

Physico-chemical analysis of product and process of biomass pelletizing from sugarcane bagasse.

Abstract:

The properties of the pellets are critical in performance study thermochemical processes, such as combustion, gasification and pyrolysis. These properties can affect aspects related to the transportation, storage, handling, power conversion, emissions into the environment as well as variables to be controlled during the pelletizing process. This article presents a study in a Brazilian industry of sugarcane bagasse pellets for the determination of the main variables and properties of the product and manufacturing pellet process. The study also performs a comparison of results with international quality standards and marketing of biomass pellet. As a result it is concluded that the pellet of sugarcane bagasse does not comply with all the items evaluated by the standards; therefore, the creation of specific regulatory rules for the marketing of pellet from this biomass is required.

Key-words: Sugarcane bagasse pellet, biomass, bioenergy

1. Introdução

Atualmente inúmeros têm sido os estudos e recursos investidos em todo o mundo na busca por fontes de energias renováveis, que não agridam o meio ambiente (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2013). Inseridas neste contexto existem as energias renováveis que podem ser definidas como energias provenientes de recursos naturais que podem ser utilizadas sem efeitos negativos (CHARTERS, 2001) ou como energias limpas que minimizam a utilização dos recursos naturais (PANWAR, KAUSHIK e KOTHARI, 2011). Dados de 2006 demonstram que 79% da energia consumida no mundo foi proveniente de combustíveis fósseis e 18% de energia renovável (REN21, 2011). Comprovadamente sabe-se que a utilização de combustíveis fósseis como energia causa poluição e também é responsável pelo efeito estufa (KALOGIROU, 2004). Neste sentido se destaca a utilização de energias renováveis, proveniente de recursos naturais como sol, vento, chuva, marés e

biomassa, que em sua essência são retiradas do meio ambiente e consumidas sem gerar passivos ambientais.

No cenário brasileiro em 2012, 42,4% das energias consumidas pelo país foram provenientes de energias renováveis, se mantendo entre as maiores matrizes energéticas renováveis do mundo, se comparado com o consumo mundial que em 2010 apenas 13,2% da energia consumida foi proveniente de energias renováveis (EPE, 2013).

A energia da biomassa é aquela que se obtém durante a transformação de produtos de origem animal ou vegetal para a geração de energia térmica ou elétrica. Atualmente inúmeros países pelo mundo já se utilizam deste tipo de energia e de tecnologia para diversas finalidades bem como queima para geração de calor, aquecimento e geração de energia elétrica dentre outras utilizações (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2013) tendo destaque em quantidade utilizada a madeira e seus resíduos (IEA, 2012).

No Brasil dentre as matérias primas de biomassa mais utilizadas têm-se o bagaço de cana-de-açúcar que é o resíduo final da retirada do caldo da cana-de-açúcar nas usinas que produzem álcool e açúcar, se posicionando entre os maiores produtores do mundo (MAPA, 2011). Segundo o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em 2012 a produção nacional de cana-de-açúcar foi de 593,6 milhões de toneladas, sendo 4,9% a mais que no ano de 2011 (MAPA, 2011). Segundo Silva, Gomes e Alsina (2007), 27% deste peso é a quantidade de resíduo de bagaço de cana-de-açúcar após o processo de produção das usinas de açúcar e álcool. Os dados do EPE (2013) indicam que a produção de bagaço de cana-de-açúcar foi de 154,1 milhões de toneladas.

O bagaço de cana-de-açúcar já vem sendo aproveitado no Brasil em grande escala, em 2012 11,2% da energia consumida pelo país foi da utilização da biomassa bagaço de cana-de-açúcar (EPE, 2013).

Outra possível utilização da biomassa de bagaço de cana-de-açúcar é a produção de *pellets* de bagaço de cana-de-açúcar. *Pellets* é o nome dado ao produto resultante do processo de secagem, moagem, e prensagem (compressão) de uma matéria prima usando uma matriz de pelletização (ARSHADI et al., 2008; LEHMANN et al., 2012). Dentre as principais características dos *pellets* destaca-se o alto poder calorífico e alta densidade do produto se comparada à matéria prima in natura, umidade baixa e constante, fácil manuseio e armazenamento o que torna o produto final muito vantajoso se comparado à matéria prima inicial (RABIER et al., 2006). Com todas estas características, o processo de pelletização vem há muitos anos sendo aplicado a diversos tipos de matérias primas e usado em diversas áreas de aplicação como ração animal, combustíveis, armazenamento de produtos.

Em 2010 a produção mundial de *pellets* de biomassa foi de mais de 12 milhões de toneladas sendo que seu grande percentual foi produzido pela Europa e América do Norte (RASGA, 2013) e as maiores demandas do produto foram a utilização doméstica e consumo industrial. A produção atual de *pellets* no Brasil é pequena se comparada com os números mundiais, cenário que pode ser alterado nas próximas décadas decorrentes das novas indústrias e projetos de instalações de fábricas.

Inserido neste contexto, fica justificado o desenvolvimento deste trabalho que tem como principal objetivo o conhecimento das principais propriedades do produto e processo de pelletização de bagaço de cana-de-açúcar auxiliando no desenvolvimento desta tecnologia de produção de bienergia.

2. Referencial teórico

2.1 Uso de biomassa para energia

No Brasil, desde a década de 70, programas de utilização de biomassa como fonte de energia vêm sendo realizados. Em 1975 o Governo Federal através do Ministério de Minas e Energia lançou o programa Pró-Álcool, seguido em 1978 pelo programa Pró-Óleo que em 2002 viria a se tornar o programa Biodiesel (SILVA, GOMES E ALSINA, 2007). Nesses dois programas destaca-se a utilização de biomassa como matéria prima, destacando-se o álcool fabricado através da matéria prima cana-de-açúcar e o biodiesel que pode ter como matéria prima plantas como soja, girassol, canola e babaçu entre outras (EMBRAPA, 2013).

Atualmente o Brasil possui números expressivos de utilização e oferta de energia gerada pela utilização da Biomassa. Segundo dados referentes ao ano de 2012 (EPE, 2013), 6,8% de toda energia elétrica disponível no país foi gerada por biomassa, e que 30,4% da energia gerada pelas termoelétricas foram provenientes da utilização de biomassa. Referente à oferta de energia no país temos em 2011 que 9,1% foi da biomassa de lenha e carvão vegetal e 15,4% foi de biomassa cana-de-açúcar (EPE, 2013).

Na Europa a biomassa também representa uma das fontes renováveis com maior potencial de crescimento. Segundo a Comissão Europeia, já em 2004, cerca de 4% da energia consumida pelo setor primário foi de biomassa, que significou na época dois terços de toda a energia renovável produzida (EEA, 2006).

Algumas vantagens podem ser destacadas na utilização da biomassa se comparada com energia fóssil (SAIÃO, 2009). Neutralidade na emissão de CO₂, continuidade de fornecimento devido à multiplicidade de fontes, desenvolvimento local de novos postos de trabalhos, diminuição na emissão de poluentes pelo baixo teor de enxofre. Por outro lado, deve-se salientar algumas desvantagens como baixa conversão energética em relação ao Petróleo que para se atingir a mesma quantidade de energia necessita-se de 4,5 vezes mais peso e 12,5 vezes mais volume, como consequência deste fato que impacta negativamente à utilização de biomassa devido são os altos custos de transporte e logística de fornecimento e distribuição (IEA, 2012).

2.2 O Processo de pelletização de biomassa

O processo de pelletização de biomassa é definido como o produto resultante do processo de secagem, moagem, e prensagem (compressão) de uma matéria prima usando uma matriz de pelletização (STAHL e BERGHEL, 2011).

Secadores são essenciais e determinantes para garantir a qualidade e propriedades dos *pellets* através da preparação da biomassa. Na maioria das vezes a matéria prima se encontra com variações de umidade e valores muito acima da faixa aceitável de pelletização (TROMBORG et al., 2013), sendo assim para se ter no final do processo *pellets* com umidade abaixo de 12 ou 10% indicados pelas normas (MARAVÉ, POPOV e ZAMORANO, 2011) se faz necessária a secagem da matéria prima.

Outro processo normalmente necessário na preparação da biomassa para a pelletização é o processo de moagem, empregado com a finalidade de uniformização do tamanho das partículas da biomassa e para a diminuição do tamanho o que favorece a qualidade e diminuição de forças de pelletização. Um dos modelos de equipamentos mais comuns utilizados na moagem de biomassa pelo mundo é o moinho de martelo, com peneira de saída de tamanho variável (aconselhável acima de 2mm) e rotação de trabalho de 3000 rpm (GIL et al., 2012).

Por fim, dentre os processos, existe o processo de pelletização realizado em um equipamento chamado de pelletizadora, formado por uma matriz que fica em rotação com furos de tamanho variado onde a matéria prima é forçada a passar pelos orifícios pela compressão realizada por rolos dentro da matriz (NIELSEN, GARDNER e FELBY, 2010).

Como principais características esperadas do processo de pelletização e vantagens que tornam os *pellets* de biomassa uma alternativa competitiva, destaca-se: (WOLF, VIDLUND e ANDERSON, 2006;).

- a) Alto poder calorífico – o aumento do poder calorífico nos *pellets* de biomassa se dá a diminuição da umidade da matéria prima.
- b) Alta densidade – para o aumento da densidade do *pellet*, dois processos são os responsáveis. A moagem que diminui o tamanho das partículas do material e o deixa melhor agrupado por unidade de volume e o aumento da densidade proveniente da prensagem na matriz de pelletização.
- c) Maior energia por menor volume – fator que se deve ao aumento do poder calorífico que relaciona energia por unidade de peso aliado ao aumento da densidade que relaciona peso por unidade de volume.
- d) Menores custos de transporte se comparado com a matéria prima original – este fator é um dos mais importantes na viabilização da pelletização de biomassa, pois com o aumento da densidade, o transporte da biomassa se torna mais barato e fácil.
- e) Menores áreas e menores custos de armazenamento – com o aumento da densidade, o espaço tomado para armazenamento se torna algumas vezes menores, diminuindo o espaço disponível necessário para estocagem.
- f) Menores custos para a instalação de queimadores (fornalhas e caldeiras) para utilização dos *pellets* como combustível – devido à maior concentração de energia por volume, o dimensionamento do tamanho de fornalhas e caldeiras é menor.
- g) Produto de fácil manuseio – pelo fato de se tornar um material de tamanho pequeno e uniforme se comparado à matéria prima inicial, o manuseio se torna mais fácil.
- h) Transformação de resíduos orgânicos ou subprodutos em combustíveis – fator importantíssimo na concepção do mundo atual, pois a pelletização de biomassa é aplicada em muitos casos a produtos ou subprodutos que eram descartados para a natureza.
- i) Alto controle da chama e do calor gerado, homogeneidade na queima – com a característica de homogeneidade de densidade, poder calorífico e umidade o controle da chama e calor gerado por unidade de tempo nas caldeiras e fornalhas são precisos, diminuindo consideravelmente as variações no processo.
- j) Permanência das características e propriedades do produto após estocagem por longos períodos – com o produto pelletizado, a suscetibilidade às variações que podem ser ocasionadas pelo ambiente é minimizada, conservando principalmente a forma, densidade e umidade do produto devido a sua alta compactação.

Em 2009 a produção mundial de *pellets* de madeira foi de 12 milhões de toneladas com previsão de grande acréscimo para os próximos anos, podendo chegar a 100 milhões de toneladas em 2020 incentivada pelos governos mundiais e políticas que direcionam para o uso deste tipo de energia. (ROOS e BRACKLEY, 2012).

2.3 Normas internacionais de qualidade de *pellets* de biomassa

A normalização de parâmetros é sempre necessária na comercialização de produtos, seja ela realizada internamente em um país ou na comercialização globalizada entre países.

Maraver, Popov e Zamorano em 2011 realizaram um estudo com inúmeras normas de qualidades vigentes em alguns países da Europa. O trabalho mostrou que a grande maioria dos parâmetros controlados pelas normas são os mesmos em diversos países, embora sendo que os limites definidos de aceitação para cada parâmetro pode variar de acordo com cada norma e cada país.

Na tabela 1 é apresentado um comparativo das principais normas vigentes nos maiores produtores e consumidores de *pellets* do mundo (Áustria, Suécia, Alemanha, Itália, França, Inglaterra, Estados Unidos). As normas definem como parâmetros de controle o diâmetro, comprimento, densidade aparente, densidade da partícula, durabilidade, umidade, poder calorífico, teor de cinzas, quantidade de nitrogênio, enxofre e cloro.

NORMAS DE QUALIDADE PARA COMERCIALIZAÇÃO DE PELLET DE BIOMASSA

Especificação	Austrian ONORM M7135 Standard	Swedish SS 187120 Standard	German DIN 51731	Italy CTI e R 04/5	French ITEBER ecom.	British BioGen/U K Good practice	USA PFI Standard	European EN14961-1 Standard
Diâmetro (mm)	4-10	≤6	4-10	6-8	≤6	4-20	5.84-7.25	6,8,10±1
Comprimento (mm)	≤50	-	≤50	-	≤30	-	≤42	3.15-40
Densidade aparente (kg/m ³)	-	≥500	-	620-720	-	≥500	608.7-746.9	≥600
Densidade da partícula (kg/m ³)	≥1120	-	1000-1400	-	-	>527	-	-
Durabilidade (%)	-	-	-	≥97.7	≥97.5	-	≥95.0	≥96.5
Umidade (%)	≤10	≤12	≤12	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10
Poder calorífico (MJ/kg)	≥18.0	≥16.9	17.5-19.5	≥16.9	-	≥15.1	-	≥16.5
Poder calorífico (kcal/kg)	>4,302	>4,039	3,705-4,661	>3,870	>4,052	≥3,607	-	>3,941
Teor de cinzas (%)	≤0.5	≤1.5	≤1.5	≤0.7	≤0.7	≤1.0	≤2.0	≤1.0
Qtd finos(%)	≤1.0	≤1.5	≤1.0	-	≤1.0	≤0.5	≤1.0	≤1.0
Nitrogênio, N	<0.3%	-	<0.3%	≤0.3%	<0.3%	-	-	≤0.5%
Enxofre, S	<0.04%	<0.08%	<0.08%	≤0.5%	<0.08%	<300ppm	-	≤0.05%
Cloro, Cl	<0.02%	<0.03%	<0.03%	≤0.03%	<0.3%	<800ppm	<300ppm	≤0.3%

Fonte: Maraver, Popov e Zamorano (2011)

Tabela 1 - Normas de qualidade

3 Materiais e métodos

O estudo foi realizado com o pellet produzido em uma indústria de produção de pellet de bagaço de cana-de-açúcar situada no sul do Brasil e a matéria prima utilizada para a produção é exclusivamente bagaço de cana-de-açúcar proveniente do resíduo final da produção de açúcar e álcool das usinas localizadas a um raio de 80km da unidade produtora.

Na figura 1 é apresentado o pellet de bagaço de cana-de-açúcar produzido.



Figura 1 - *Pellet* de bagaço de cana-de-açúcar

Fonte: Autoria própria

3.1 Propriedades do *pellet*

3.1.1 Umidade

Para medir a umidade do *pellet* foi utilizado um analisador de infravermelhos Gehaka, modelo IV2000, o qual se pode determinar o teor de humidade no intervalo de 0% a 100%. Para a medição de umidade do *pellet* cerca de 8 g da substância foram colocadas dispersas sobre o prato de amostra descartável, salientando que foi necessário o esmagamento do *pellet* transformando a substância em pó para a medição. Observou-se um tempo de 20 minutos, até ao final do processo de medição. Foram realizadas 50 medições.

3.1.2 Densidade a granel e da partícula

Para determinar a densidade a granel do *pellet*, foi realizada medições da massa de *pellet* existente em um tubo com comprimento de 0,56 metros e o raio de 0,075 metros, formando um volume de 0,009896 m³. Foi utilizada uma balança digital com precisão de 0,01g. A densidade foi obtida pela razão entre a massa e volume. Para determinar esta propriedade, 30 medidas foram realizadas.

Para a determinação da densidade da partícula do *pellet* foi utilizado um paquímetro como instrumento de medição para medir as dimensões do *pellet* (comprimento e diâmetro) e o peso foi obtido em uma balança digital com 0,01 g de precisão. A densidade foi obtida pela razão entre a massa e volume. O número de amostras aleatórias foram de 50 *pellets*.

3.1.3 Diâmetro e comprimento do *pellet*

O diâmetro do *pellet* é determinado pela ferramenta da matriz de pelletização. Tendo em vista a expansão sofrida após este processo ou mesmo pelo desgaste da ferramenta, as variações de diâmetro do *pellet* pode ocorrer. Por esse motivo foram efetuadas 50 medições do diâmetro e do comprimento do *pellet* utilizando um paquímetro.

3.1.4 Durabilidade

A durabilidade é uma característica fundamental dos *pellets* e depende do tempo de granulação e temperatura durante o processo de pelletização (LEE et al., 2013).

A fim de determinar a durabilidade mecânica, 2 kg de *pellets* de bagaço de cana-de-açúcar foram colocados dentro de um tambor rotativo, com a geometria especificada na figura 2 e volume de 0,78 m³. Após 600 rotações, finos foram separadas por meio de uma peneira quadrada de 3,6 milímetros de furo. O número de repetições foram três.

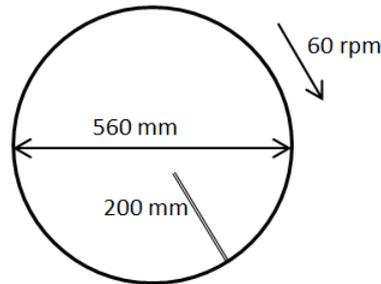


Figura 2 - Tambor rotativo

Fonte: Autoria própria

A durabilidade mecânica foi calculada dividindo-se a massa dos *pellets* peneirado depois do ensaio, separando a quantidade de finos, e dividindo pela massa total de *pellets* antes do ensaio. A quantidade de finos foi calculada pela razão entre a massa de finos peneirada pela massa total de *pellet* antes do ensaio. Ambos dados são apresentados em percentuais.

3.1.5 Poder calorífico

O valor do poder calorífico superior, inferior e útil foi medido em conformidade com a norma brasileira NBR 8633, que prescreve o método para a determinação do valor calorífico de carvão em volume constante. A fim de determinar esta propriedade, uma amostra de grânulos foi esmagada e em seguida secou-se num forno a 100 ° C. Depois de arrefecida, o valor calorífico (kcal / kg) foi medido utilizando um calorímetro de modelo de bomba IKA C-5000, com reprodutibilidade 0,05% - 0,1% RSD. As medidas foram replicadas duas vezes.

3.1.6 Teor de cinzas, material volátil e elementos químicos (N, S, Cl).

O teor de cinzas, material volátil e carbono fixo foram avaliados de acordo com a norma brasileira NBR 8112 para o carvão vegetal. Para a determinação do material volátil, uma amostra de biomassa previamente seca foi colocada em um forno elétrica, durante alguns minutos à temperatura de 900 °C, em seguida, a massa foi comparado antes e depois do procedimento. A fim de determinar o teor de cinzas, uma amostra de material foi colocada num forno elétrico, à temperatura de 700 °C até que esteja completamente queimada, depois, a massa foi comparada antes e depois do procedimento. O percentual de carbono fixo foi calculado pela diferença entre 100% e a soma da umidade, do material volátil e do teor de cinzas. As medições foram replicadas três vezes.

A determinação de nitrogênio, enxofre e cloro, estão em conformidade com as seguintes normas, respectivamente: EPA 5050 e 4500NO3 E; EPA 5050 e 4500 SO42-E; EPA 5050 e 4500Cl L.

4 Resultados e conclusões

Na tabela 2 são apresentados os resultados das propriedades físicas e mecânicas e na tabela 3 os resultados das propriedades químicas do *Pellets*.

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

	Menor valor	Valor médio	Maior valor	Desvio padrão	Erro (\pm)
Diâmetro (mm)	9.60	9.70	10.00	0.10	0.01
Densidade da partícula (kg/m ³)	1140	1270	1350	60	10
Durabilidade mecânica (%)	98.16	97.90	98.50	0.30	0.12
Finos (%)	1.84	1.95	2.10	0,13	0.05

Fonte: Autoria própria

Tabela 2 - Propriedades físicas e mecânicas

PROPRIEDADES QUÍMICAS

Normas ABNT	Valor médio	Desvio padrão	Erro (\pm)
Poder calorífico superior (kcal/kg)	4384	87	216
Poder calorífico inferior (kcal/kg)	4063	56	139
Poder calorífico útil (kcal/kg)	3821	61	152
Teor de cinzas (%)	8.70	0.13	0.34
Carbono fixo (%)	14.03	0.34	0.84
Materiais voláteis (%)	77.27	0.90	2.24
Normas EPA	Un.	Valor	Limite de qualificação (LQ)
Nitrogen (N)	%	0.28	0.05
Sulphur (S)	%	0.02	0.03
Chlorine (Cl)	%	<LQ	0.02

Fonte: Autoria própria

Tabela 3 - Propriedades químicas

Em relação às propriedades físicas e mecânicas, todas as normas de *pellets* da tabela 1 estabelece valores para diâmetro, mas nem todos indicam valores de referência para o comprimento, densidade a granel, densidade da partícula e durabilidade. O diâmetro médio dos *pellets* de bagaço de cana-de-açúcar encontrado aqui (9,7 milímetros) está de acordo com alguns padrões internacionais de qualidade, mas é diferente se comparado com os padrões da Suécia, Itália, França e Dos EUA. A diferença entre o valor médio e o valor máximo encontrado neste experimento ($\pm 0,3$ mm) é inferior ao valor esperado pelo padrão europeu EN14961-1 (± 1 mm).

O comprimento médio de 22,70 milímetros está de acordo com todas as normas que especificam essa propriedade. A densidade a granel do *pellet* encontrada aqui (726,32 kg / m³) está de acordo com todas as normas que especificam essa propriedade, com exceção da Itália padrão CTI e R 05/04 (620-720 kg / m³). Densidade da partícula está de acordo com as normas da Áustria, Alemanha e britânico e, por outras normas, não existe um valor de referência.

Quanto a características químicas, apenas o conteúdo de umidade, teor de cinzas e cloro são definidos para todos os padrões. O teor de umidade encontrado neste experimento está de acordo com todas as normas. O valor do poder calorífico está em conformidade com todos os padrões, exceto para a Áustria ONORM M7135 padrão (> 4.302 kcal / kg).

O teor de cinza encontrada no estudo foi de 8,7%, mais elevada do que a encontrada em todas normas. O valor máximo de aceitação desta propriedade foi verificado pela norma EUA PFI (≤ 2.0) e o valor mínimo é definido por padrão Áustria ONORM M7135 ($\leq 0,5$). O alto nível de teor de cinzas em *pellets* de bagaço de cana-de-açúcar é um fator indesejado e podendo ser prejudicial para algumas tecnologias de aquecimento.

O valor médio da quantidade de finos encontrados no estudo (1,95%) é maior do que os encontrados em todas as normas. Neste caso, é importante destacar que os testes do estudo utilizaram uma peneira 3,6 milímetros, enquanto os padrões internacionais normalmente recomendam uma peneira 3,15 milímetros de (MARAVÉR, POPOV e ZAMORANO, 2011). Um procedimento específico para avaliar esta característica para *pellet* seria conveniente para alcançar os resultados desejados.

Finalmente, verificou-se que a quantidade de nitrogênio, enxofre e cloro contido no *pellet* de bagaço de cana-de-açúcar estão em conformidade com todas as normas internacionais de *pellets* de madeira. E as propriedades de carbono fixo e matérias voláteis são importante parâmetro de qualidade da biomassa, mas eles não aparecem nas normas internacionais de *pellets* de madeira.

Pode-se concluir no estudo que apenas algumas características do *pellet* de bagaço de cana-de-açúcar estão de acordo com as normas internacionais de qualidade. Isso indica que nenhuma norma atual para *pellet* de biomassa é apropriada para normatizar *pellet* de bagaço de cana-de-açúcar e que portanto o biocombustível em estudo precisa de normas específicas e procedimentos de caracterização para se produzir e avaliar o produto que no futuro pode se tornar uma significativa alternativa de energia renovável.

Referências

- ARSHADI, M.; GREF, R.; GELADI, P.; DAHLQVIST, S.; LESTANDER, T. *The influence of raw material characteristics on the industrial pelletizing process and pellet quality*. Fuel Process Technol. Vol 89, p.1442-1449, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8112 – Carvão Vegetal – *Análise Imediata*. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8633 – Carvão Vegetal – *Determinação do poder calorífico*. Rio de Janeiro, 1984.
- Austrian standard ÖNORM M 7135. *Compressed wood or compressed bark in natural state, pellets and briquettes. Requirements and test specifications*. Vienna, Austria: Österreichisches; 2003.
- British. *BioBen code of Good practice for Biofuel Pellets*. London, UK, 2000.
- BRASIL. **Balanco Energético Nacional - BNE**. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 28 julho. 2014.

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Disponível em <<https://embrapa.br/>>
Acesso em: 28 julho. 2014.

CHARTERS, W. W. S. *Developing markets for renewable energy technologies.* Renewable Energy, Vol. 22, p. 217, 2001.

EEA. (2006). *How much bioenergy can Europe produce without harming the environment*. Copenhagen: European Environment Agency: EEA Report n° 7/2006.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – *Test methods for evaluating solid wastes* - SW 846.

European Pellets Standard – EN14961-1 – *Solid biofuels — Fuel specifications and classes.* European Pellet Council, 2011.

French recommendation ITEBE - *European Wood Energy Technical Institute.* France, 2009.

German standard DIN 51731. *Testing of solid fuels, compressed untreated wood. Requirements and testing.* Berlin, Germany: Deutsches Institut für Normung; 1996.

GIL, M.; ARAUZO, I.; TERUEL, E.; BARTOLOMÉ, C. *Milling and handling Cynara Cardunculus L. for use as solid biofuel: Experimental tests.* Biomass and Bioenergy, Vol., 41, p. 145-156, 2012.

IEA – International Energy Agency. *World Energy Outlook 2012* – Renewable Energy outlook.

Italian recommendation CTI e R 04/5: *solid biofuels. Pellet characterization for energetic purposes;* 2004.

KALOGIROU SA. *Solar thermal collectors and applications.* Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 03, p. 231-95, 2004.

LEE, S. M.; AHN, B. J.; Choi, D. H.; HAN, G.; JEONG, H. S.; AHN, S.H.; YANG, I. *Effects of densification variables on the durability of wood pellets fabricated with Larixkaempferi C. and Liriodendron tulipifera L. sawdust.* Biomass Bioenerg, Vol. 48, p. 1-9, 2013.

LEHMANN, B.; SCHRODER, H.W.; WOLLENBERG, R.; REPKE, J.U. *Effect of miscanthus addition and different grinding processes on the quality of wood pellets.* BioMass and bioenergy, Vol. 44 , p. 150-159, 2012.

MANZANO-AGUGLIARO, F.; ALCAYDE, A.; MONTOYA, F. G.; ZAPATA-SIERRA, A.; GIL, C. *Scientific production of renewable energies world wide: An overview.* Renewable and Sustainable Reviews, Vol. 18, p. 134-143, 2013.

MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária. 2011. Information available at www.agricultura.gov.br.

MARAVER, A.G.; POPOV, V.; ZAMORANO, M. *A review of Europa standards for pellets quality.* Renewable Energy, Vol. 36, p. 3537 – 3540, 2011.

NIELSEN, N.P.K.; GARDNER B, D.J.; FELBY, C. *Effect of extractives and storage on the pelletizing process of sawdust.* Fuel, Vol. 89, p. 94–98, 2010.

PANWAR, N.L.; KAUSHIK, S.C.; KOTHARI, S. *Role of renewable energy sources in environmental protection a review.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 15 p. 13–24, 2011.

Pellet Fuels Institute –PFI. *Standard Specification for Residential/Commercial Densified Fuel.* USA, 2011.

RABIER, F.; TEMMERMAN, M. I.; BOHM, T.; HARTMANN, H. *Particle density determination of pellets and briquettes.* Biomass and Bioenergy, Vol. 30, p. 954-963, 2006.

RASGA, R. O. S. *Pellets de madeira e sua viabilidade econômico-financeira na substituição do óleo BPF-A1 em pequenos e médios consumidores no Estado de São Paulo 2013.* 2013, 165 f. Dissertação (Mestre em Agroenergia) - Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, 2013, São Paulo.

REN21. 2011. **Renewables Global Status Report.** Report available at www.ren21.org.

ROOS, J. A.; BRACKLEY, A. M. *The Asian Wood Pellet Markets.* United States Department of Agriculture Forest Service Pacific Northwest Research Station General Technical Report. PNW-GTR-861, 2012.

SAIÃO, Maria G. C. *Implementação de uma Central a Biomassa. Análise de sustentabilidade Ambiental e Econômica.* 2009, 99 f. Dissertação (Mestre em Engenharia do Ambiente) – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2009.

SILVA, V. L. M. M.; GOMES, W. C.; ALSINA, O. L. S. *Utilização do bagaço de cana-de-açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos.* Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Vol.2, 1 (2007)27-32.

STAHL, M.; BERGHEL, J. *Energy efficient pilot-scale production of wood fuel pellets made from a raw material mix including sawdust and rapeseed cake.* Bio mass and bio energy. Vol. 35, p. 4849-4854, 2011.

Swedish standard SS 187120. *Biofuels and peat, fuel pellets.* Classification. Stockholm, Sweden: Swedish Standards Institution; 1998.

TROMBORG, E.; RANTA, T.; SCHWEINLE, J.; SOLBERG, B.; SKJEVRAK, G.; TIFFANY, D. G. *Economic sustainability for wood pellets production. A comparative study between Finland, Germany, Norway, Sweden and the US.* Biomass and Bioenergy. Vol. 30, p. 1-10, 2013.

WOLF, A.; VIDLUND, A.; ANDERSON, E. *Energy efficient pellet production in the forest industry - a study of obstacles and success factors.* Biomassa and bioenergy. Vol. 30, p. 38 – 45, 2006.