

Produção e caracterização de *pellets* de sorgo biomassa**Production and characterization of high-biomass sorghum pellet**

Recebimento dos originais: 20/08/2018

Aceitação para publicação: 25/09/2018

Maria Lúcia Ferreira Simeone

Doutora em Química Orgânica pela Universidade Federal de São Carlos – SP

Instituição: Embrapa Milho e Sorgo

Endereço: Rodovia MG 424, km 45, Sete Lagoas – MG, Brasil

E-mail: marialucia.simeone@embrapa.br

Rafael Augusto da Costa Parrella

Doutorem Genética e Melhoramento de Plantas pela Universidade Federal de Lavras – MG

Instituição: Embrapa Milho e Sorgo

Endereço: Rodovia MG 424, km 45, Sete Lagoas – MG, Brasil.

E-mail: rafael.parrella@embrapa.br

Andre May

Doutorem Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – SP

Instituição: Embrapa Meio Ambiente

Endereço: Rodovia SP 340, KM 127,5, Tanquinho Velho, Jaguariúna - SP

E-mail: andre.may@embrapa.br

Robert Eugene Schaffert

Doutor em Genética e Melhoramento Vegetal - Universidade de Purdue – EUA

Instituição: Embrapa Milho e Sorgo

Endereço: Rodovia MG 424, km 45, Sete Lagoas – MG, Brasil.

E-mail: robert.schaffert@embrapa.br

RESUMO

O sorgo biomassa (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma cultura que apresenta um grande potencial como fonte de biomassa para energia em função de sua alta produtividade, tolerância à seca e por ser uma cultura mecanizável, sendo assim, uma alternativa de biomassa vegetal para ser utilizada em processos de densificação por peletização. O objetivo do trabalho foi produzir *pellets* de um híbrido de sorgo biomassa BRS716 e realizar sua caracterização de acordo com normas internacionais de qualidade para *pellets*. Os *pellets* de sorgo biomassa foram obtidos em uma peletizadora de laboratório sem adição de qualquer aditivo, com diâmetro de 6 mm, comprimentos variados e foram caracterizados quanto a suas propriedades físico-químicas e mecânicas. Os *pellets* obtidos apresentaram as características mínimas exigidas pela norma DIN EN 14961-6 e

adequaram-se a todas as especificações da norma europeia de comercialização para *pellets* de produtos não madeireiros. Esses resultados demonstram o grande potencial do sorgo biomassa como uma cultura a ser integrada à cadeia de fornecimento de biomassa para geração de energia.

Palavras-chave: bioenergia; biomassa vegetal; produtos não madeireiros, BRS716.

ABSTRACT

High biomass sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is a crop that presents a great potential as a source of biomass for energy due to its high productivity and because it is a mechanizable crop, being an alternative of biomass to be used in pelletizing densification processes. The objective of the study was to produce pellets of a BRS716 high biomass sorghum hybrid and perform its characterization according to international quality standards for pellets. The biomass sorghum pellets were obtained in a laboratory pelletizer without addition of any additive, with a diameter of 6 mm and varied lengths. They were characterized for their physicochemical and mechanical properties. The pellets obtained have the minimum characteristics required by DIN EN 14961-6 and have met all the specifications of the European marketing standard for pellets of non-wood products. These results demonstrate the great potential of biomass sorghum as a crop to be integrated into the biomass supply chain for energy generation.

Keywords: bioenergy, vegetal biomass, non-wood products, BRS716.

1 INTRODUÇÃO

A utilização da biomassa como fonte de energia é, sem dúvida, uma das alternativas que melhor contempla a vocação natural do Brasil (Escobar e Coelho, 2013).

O uso crescente da biomassa no setor energético ocorre em função do desenvolvimento de tecnologias eficientes de conversão, principalmente em países industrializados, o que tem favorecido o reconhecimento das vantagens socioambientais do uso da biomassa na geração de energia no Brasil (Brasil, 2007). De acordo com Tolmasquim (2016), alternativas de expansão desse segmento deverão se desenvolver nas próximas décadas, incentivadas por novas fontes de biomassa de escala compatível com a integração ao sistema elétrico e nas culturas que apresentam condições atuais e perspectivas futuras de escala no país.

Entre as culturas com potencial energético, o sorgo biomassa (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma cultura que apresenta alto rendimento de biomassa (50 toneladas de matéria seca por hectare), porte alto, podendo chegar a 5 metros de altura. A cultura é mecanizável do plantio à colheita, propagada por sementes e a colheita realizada 5 a 8 meses após o plantio. Possui boa tolerância à seca, sistema de produção agrícola estabelecido, boa aptidão para as regiões tropicais e temperadas e sua biomassa pode ser utilizada na combustão direta (queima em fornos ou caldeiras) para gerar energia (Parrella et al., 2010).

Quando a biomassa precisa ser armazenada por mais tempo ou transportada, uma opção interessante que pode facilitar seu uso como fonte energética é a utilização de processos de densificação, como a peletização (Tolmasquim, 2016).

A densificação por peletização é uma das formas que tem em sido utilizadas para aumentar o valor agregado de biomassas vegetais (Fasina e Sokhansanj, 1996). A principal aplicação dos *pellets* é na geração de energia térmica, mas também podem ser utilizados como combustível para a geração de energia elétrica em indústrias ou usinas termoeletricas (Brasil, 2007).

No processo de peletização da biomassa vegetal, podemos destacar algumas vantagens como: aumento da densidade aparente (Maniet al., 2003), o que implica na redução do transporte, manuseio e armazenamento (Nilsson et al., 2011); homogeneidade no tamanho e forma do material (Theerarattananoon et al., 2011); e minimização de perdas em comparação com o material simplesmente picado.

O mercado de *pellets* de biomassa vegetal cresceu nos últimos anos em função da grande demanda por fontes energéticas alternativas aos derivados do petróleo e por países que precisam diminuir suas emissões de gases do efeito estufa para atender aos acordos firmados no Protocolo de Kyoto (Brasil, 2007).

No Brasil, o consumo de *pellets* em 2012 foi de, aproximadamente, 39.800 toneladas (Oliveira, 2015). Os principais consumidores são indústrias, pizzarias, padarias, hotéis, granjas, lavanderias e, até, parques aquáticos. Mas este consumo é muito pequeno quando comparado ao europeu, que utiliza *pellets* para aquecimento interno no comércio, indústria e, principalmente, residencial.

A União Europeia é o maior mercado de consumo de *pellets*. Em 2012 consumiu cerca de 14 milhões de toneladas e deverá triplicar esse consumo até 2020 (Oliveira, 2015).

Em cada um dos mercados consumidores, a qualidade dos *pellets* é normatizada e depende das propriedades do material vegetal, do tamanho da partícula, do processo de peletização utilizado, bem como de sua aplicação final. De acordo com Hahn (2004) a composição físico-química é importante para se analisar a qualidade dos *pellets*, para determinar sua eficiência térmica e o seu comportamento durante o processo de combustão. Há várias normas internacionais que estabelecem os critérios mínimos de qualidade para a fabricação de *pellets*, sendo que a norma alemã DIN EN 14961-6 (Deutsches Institut Für Normung, 2012), estabelece os critérios mínimos de qualidade para a certificação de *pellets* de biomassas não madeireiras com qualidade A ou B.

No Brasil, ainda não existe norma para a padronização de combustíveis sólidos como os *pellets* de madeira ou não madeireiros (Garcia, et al. 2013), embora a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT já possua um grupo de pesquisadores trabalhando neste sentido.

Segundo o Instituto Brasileiro das Indústrias de *Pellets*, Biomassa e Briquete, o pequeno potencial de investimentos e a disponibilidade limitada de suprimentos de matérias-primas estão restringindo a capacidade de crescimento e produção na Europa (Oliveira, 2015). A principal matéria-prima para produzir *pellets* tem sido tradicionalmente a serragem e os subprodutos de serrarias. Com o aumento da competição pelos recursos de serragem, uma base de matéria-prima sustentável mais ampla torna-se necessário.

Visando contribuir para ampliar as fontes de biomassa que poderão ser utilizadas na matriz energética brasileira, o objetivo desse estudo foi produzir *pellets* de sorgo biomassa BRS716 e realizar sua caracterização físico-química de acordo com normas internacionais para a verificação da qualidade dos *pellets* produzidos a partir desse novo genótipo de sorgo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O plantio de sorgo biomassa foi conduzido na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, localizada no município de Sete Lagoas – Minas Gerais no ano agrícola de 2015/2016, empregando-se o híbrido de sorgo biomassa BRS 716. Para a condução do experimento de campo foram mantidas práticas culturais convencionais, de acordo com de Souza et al. (2014).

Os colmos foram colhidos manualmente e triturados em picador marca IRBI e deixados secar ao sol sob uma lona por 7 dias para reduzir a umidade abaixo de 10%. Em seguida esse material foi moído em moinho de facas marca Marconi utilizando uma peneira de 2mm.

2.1 PREPARO DOS PELLETS

Os *pellets* foram preparados pela empresa Lippel Metal Mecânica Ltda utilizando uma peletizadora de laboratório marca Lippel Metal, modelo UP-100 com capacidade de produção de 70 a 100 m³.h⁻¹, pressão 10 t.h⁻¹, sem adição de qualquer aditivo, com diâmetro de 6 mm e comprimentos variados.

2.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Após a obtenção dos *pellets* de sorgo biomassa estes foram submetidos a análises laboratoriais no Instituto Tecnológico do Paraná, de acordo com normas estabelecidas na literatura. Efetuou-se a análise imediata de acordo com as normas ASTM (ASTM, 2013), com a determinação das seguintes propriedades: teor umidade (E871:1982), materiais voláteis (E872:1982), teor de cinzas (E1534:1993) e carbono fixo (E870:1982).

Para determinação da densidade básica utilizou-se a metodologia estabelecida pela norma NBR 11941 (ABNT, 2003), para madeira e para a densidade aparente utilizou-se a norma E873:1982 (ASTM, 2013).

As dimensões dos *pellets*, diâmetro e comprimento, foram determinadas de acordo com a norma ÖNORM M7135 (ÖNORM, 2000) por meio da medida individual do comprimento e do diâmetro de 20 *pellets* selecionados aleatoriamente de cada amostra com paquímetro digital. A quantidade de *pellets* em 100 g de material foi determinada pela contagem do número de *pellets* existentes em 100 g. A durabilidade mecânica e a porcentagem de finos (partículas menores que 3,15 mm) foram determinadas de acordo com a norma DIN EN15210-1 (Deutsches Institut Für Normung, 2010).

Determinou-se o poder calorífico superior (PCS) em uma bomba calorimétrica isotérmica, marca IKA, modelo C2000 por meio da metodologia estabelecida na norma ABNT NBR 8633. A estimativa do poder calorífico útil (PCU) foi realizada utilizando-se a equação abaixo, conforme norma DIN EN14918 (Deutsches Institut Für Normung, 2010). No PCU (equação 1) é descontada a energia necessária para evaporar a água referente à umidade.

$$PCU_{\text{(pressão constante)}} = [PCS - 212,2*H - 0,8*(O+N)] * (1-0,01*UM) - 24,43*UM \quad (1)$$

Em que:

PCU: poder calorífico útil (J.g⁻¹);

PCS: poder calorífico superior (J.g⁻¹);

H, O e N: teores de hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, respectivamente(%)

UM: umidade em base úmida (%)

Os teores de enxofre e potássio foram determinados por espectrometria de emissão por plasma acoplado indutivamente - ICP-OES, marca Varian modelo E-720, após digestão nitro-perclórica em bloco de aquecimento. O teor de cloro foi determinado por cromatografia de íons, marca Metrohm, modelo 930 após tratamento com ácido nítrico. O teor de cloro foi calculado conforme a norma DIN EN15289 (Deutsches Institut Für Normung, 2011).

O teor de nitrogênio foi determinado pelo método de Dumas em determinador de nitrogênio marca Leco FP 528. As análises foram realizadas em triplicata, seguindo os procedimentos de rotina dos Laboratórios da Embrapa Milho e Sorgo.

A composição elementar (carbono, hidrogênio) foi determinada em analisador Perkim Elmer modelo 2400. O teor de oxigênio foi estimado por diferença, subtraindo os teores de carbono, nitrogênio, hidrogênio, enxofre e cinzas.

A densidade energética, em GJ.m^{-3} , foi obtida pela multiplicação do poder calorífico útil pela densidade aparente do material, conforme sugerido por Obernberger e Thek (2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o material seco e moído, foi possível obter os *pellets* de sorgo biomassa BRS 716 com diâmetro de 6 mm utilizando uma peletizadora de laboratório (Figura 1).



Figura 1 – *Pellets* de sorgo biomassa BRS 716.

Os resultados obtidos para a caracterização físico-química e mecânica dos *pellets* de sorgo biomassa BRS 716 estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Propriedades físicas e mecânicas dos *pellets* de sorgo biomassa BRS716.

| Característica | Unidade | Resultado |
|----------------------------------|--------------------|-----------|
| Diâmetro | mm | 6,12 |
| Comprimento médio | mm | 14,62 |
| Comprimento máximo | mm | 30,16 |
| Comprimento mínimo | mm | 3,53 |
| Nº de <i>pellets</i>/100g | unidades | 224 |
| Densidade aparente | g.cm^{-3} | 0,658 |
| Densidade básica | g/cm^{-3} | 0,775 |
| Durabilidade | % massa | 98,37 |
| Finos < 3 mm | % massa | 1,63 |

A observação visual dos *pellets* de sorgo biomassa BRS716 permite verificar que há diferenças no tamanho dos *pellets* (Figura 1). Essas observações foram confirmadas pelos resultados obtidos na análise do comprimento e diâmetro dos *pellets* testados.

Os diâmetros finais dos *pellets* não tiveram grandes variações porque todos são produzidos numa matriz perfurada com diâmetro padronizado de saída 6 mm, mas o comprimento mínimo encontrado 3,53 mm e o máximo 30,16 mm permite verificar que há variações no seu processo de fabricação.

O número de *pellets* contados em 100 g da amostra mostrou valores similares a *pellets* produzidos a partir de outras biomassas (Zamorano et al., 2011).

A densidade aparente dos *pellets* foi 658 kg.m⁻³. Em quase todas as normas internacionais, se aceitam valores superiores a 600 kg.m⁻³ para combustível com alto padrão de qualidade. Obernberger et al. (2006) salientam que baixos valores de densidade aparente resultam em maior custo de transporte e influenciam a capacidade de estocagem de produtores e consumidores.

Para a durabilidade mecânica, a amostra apresentou valor elevado, acima de 98% e com produção de materiais finos menores que 3,15 mm de 1,64%. Estes resultados estão de acordo com o padrão internacional de qualidade e indicam que os *pellets* são capazes de suportar a desintegração física, devido a impactos mecânicos durante o armazenamento e o transporte (Tumuluru, 2014).

Tabela 2– Propriedades químicas dos *pellets* de sorgo biomassa BRS716.

| Característica | Unidade | Resultado |
|---------------------------|--------------------|-----------|
| Teor de carbono fixo | % | 9,0 |
| Teor de matérias voláteis | % massa | 79,6 |
| Teor de cinzas | % massa | 4,1 |
| Teor de umidade | % massa | 7,3 |
| Poder calorífico superior | J.g ⁻¹ | 17.662 |
| Poder calorífico útil | J.g ⁻¹ | 15.269 |
| Densidade energética | GJ.m ⁻³ | 10,04 |
| Carbono | % | 41,4 |
| Hidrogênio | % | 4,7 |
| Oxigênio | % | 49,1 |
| Cloro | % | 0,3 |
| Enxofre | % | 0,06 |
| Potássio | % | 1,2 |
| Nitrogênio | % | 0,7 |

Os *pellets* de sorgo biomassa apresentaram teor de carbono fixo abaixo do teor encontrado para *pellets* de madeiras como eucalipto ou pinus e teor de materiais voláteis próximos. Em média, os *pellets* preparados a partir dessas madeiras apresentam teores de matérias voláteis entre 75% a 85% e de carbono fixo entre 14% a 25%. Porém o teor de carbono fixo e de matérias voláteis do

sorgo biomassa estão de acordo com *pellets* descritos na literatura para outras gramíneas (Pereira, 2014). O teor de umidade de *pellets* comerciais de madeira está em torno de 10 a 12%. Segundo Obernberger e Thek (2010) a biomassa para produção de *pellets* deve ter umidade entre 8 e 12% para garantir que sejam estáveis e tenham uma boa durabilidade. A quantidade de umidade na biomassa tem uma influência direta no poder calorífico útil, na eficiência e na temperatura da combustão (Lehtikangas, 2000).

O teor de cinza encontrado está próximo à média do valor encontrado em outras biomassas agrícolas (4%). Lehtikangas (2001) esclarece que valores superiores a 4% podem vir de fontes externas como impurezas adquiridas no transporte ou no processamento da matéria-prima. As cinzas são resíduos da combustão e de acordo com sua composição química pode ocorrer a formação de incrustações nos equipamentos de combustão (Cortez et al., 2008), como a presença de alto teor de potássio. O potássio influencia a temperatura de fusão das cinzas e quando em altas concentrações diminui essa temperatura causando a formação de incrustações nas fornalhas para a combustão da biomassa. O teor de potássio encontrado nos *pellets* de sorgo biomassa está de acordo com os valores encontrados para outras gramíneas (Obernberger e Thek, 2004).

Em relação à análise elementar, podemos verificar que os teores de carbono e hidrogênio tendem a ser menores para a biomassas gramíneas quando comparados aos teores para as biomassas lenhosas (Pereira, 2014). Para as biomassas lenhosas como pinus e eucalipto estes teores estão em torno de 46 e 6% para carbono e hidrogênio, respectivamente. Essa análise é importante, pois quanto maior o teor de carbono e hidrogênio, mais eficiente será a combustão desse material. (Cortez et al., 2008)

O PCS é uma das propriedades mais importante para caracterizar um material como combustível (Demirbás, 2002), ou seja, quanto maior o seu PCS, menor quantidade de material será exigida para atender a uma demanda energética. Já o PCU é estimado quando se considera a energia utilizada na vaporização da água, ou seja, uma parte do calor que é liberado durante a combustão dos *pellets* será utilizada para evaporar a água presente.

Por isso, um fator relevante na eficiência da combustão é o teor de umidade. Quanto maior a umidade, menor é a eficiência do processo, e menor a energia útil. (Gomes, 1980).

Os *pellets* de sorgo biomassa apresentam PCS e PCU adequado às especificações de qualidade exigidas para os *pellets* não madeireiros.

Quando se avalia a densidade energética, podemos observar que o potencial dos *pellets* de sorgo biomassa (10,08) foi muito próximo ao de *pellets* de madeira (10,28) ou bagaço de cana (10,31), (Pereira, 2014).

No que se refere aos teores de nitrogênio, enxofre e cloro determinados nos *pellets* de sorgo biomassa, todos os resultados encontrados atendem aos pré-requisitos da norma internacional de qualidade. Esses elementos estão relacionados aos aspectos ambiental e tecnológico, pois teores de nitrogênio acima de 0,6% e enxofre acima de 0,2% causam impacto negativo devido, principalmente, à formação óxidos de nitrogênio e enxofre, (NO_x) e (SO_x), respectivamente, durante a combustão do material (Pereira, 2014).

Os principais problemas de altos teores de cloro na biomassa são o efeito corrosivo nas tubulações, a emissão de ácido clorídrico (HCl), dioxinas e organoclorados, por isso, o nível máximo permitido nos *pellets* de biomassa não madeireira é 0,3%. Concentrações de cloro acima de 0,3% podem causar danos expressivos às caldeiras, fornalhas e à saúde humana (Oberberger et al., 2006).

Na Tabela 3, pode-se observar o resumo da classificação dos *pellets* de sorgo biomassa BRS 716 em função das especificações de qualidade A ou B de acordo com a norma DIN EN 14961-6 (Deutsches Institut Für Normung, 2012).

Tabela 3 – Qualidade dos *pellets* de sorgo biomassa comparada aos requisitos mínimos de qualidade estabelecidos pela norma DIN EN 14961-6 (Deutsches Institut Für Normung, 2012).

| Propriedade | Pellet sorgo biomassa BRS716 | de Unidade | Origem | |
|-----------------------|---------------------------------------|---------------------|--|--|
| | | | A Biomassa herbácea, de frutas ou mistura de biomassas. | B Biomassa herbácea, de frutas ou mistura de biomassas. |
| Diâmetro | 6,12 | mm | 6 ± 1 | 6 ± 1 |
| Comprimento | 14,62 | mm | 3,15 ≤ comprimento ≤ 40 | 3,15 ≤ comprimento ≤ 40 |
| Umidade | 7,3 | % | ≤ 13,6 | ≤ 17,6 |
| Cinzas | 4,0 | % | ≤ 5 | ≤ 10 |
| Finos < 3,15 mm | 1,63 | % | ≤ 2 | ≤ 3 |
| Densidade aparente | 658 | kg.m ⁻³ | ≥ 600 | ≥ 600 |
| Poder calorífico útil | 15,27 | MJ.kg ⁻¹ | ≥ 14,1 | ≥ 13,2 |
| Nitrogênio | 0,7 | % | ≤ 1,5 | ≤ 2 |
| Enxofre | 0,06 | % | ≤ 0,20 | ≤ 0,20 |
| Cloro | 0,30 | % | < 0,20 | < 0,30 |

Todas as propriedades avaliadas nos *pellets* de sorgo biomassa foram classificadas como A, exceto para o teor de cloro que foi classificada como B.

4 CONCLUSÕES

Os *pellets* de sorgo biomassa BRS 716 produzidos neste trabalho apresentaram as características mínimas exigidas de qualidade e adequaram-se a todas as especificações da norma europeia de comercialização para *pellets* de produtos não madeireiros.

Estes resultados demonstram o grande potencial do sorgo biomassa como uma cultura a ser integrada à cadeia de fornecimento de biomassa para geração de energia e o desenvolvimento agroecológico. Outras pesquisas serão necessárias para adequar o processo produtivo dos *pellets* de sorgo biomassa a aplicação destinada do produto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Srs. Alandjon F. S. Peiker e Antônio Jr. Niquelatte da empresa Lippel Metal Mecânica Ltda pelo preparo dos *pellets* de sorgo biomassa.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 11941. **Madeira - Determinação da Densidade Básica**, Rio de Janeiro, Brazil, 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 8633. **Carvão Vegetal – Determinação do poder calorífico**, Rio de Janeiro, Brazil, 2003.

ASTM E-1534-93. **Standard Test Method for Determination of Ash Content of Particulate Wood Fuels** – ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2013.

ASTM E-873-82. **Standard Test Method for Bulk Density of Densified Particulate Biomass Fuels** – ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2013.

ASTM E870-82. **Standard Test Methods for Analysis of Wood Fuels** ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2013.

ASTM E871-82. **Standard Test Method for Moisture Content Analysis of Particulate Wood Fuels**, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2013.

ASTM E872-82. **Standard test method for volatile matter in the analysis of particulate wood fuels**, ASTM International, Philadelphia, USA, 2013.

Brasil. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030** / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. _ Brasília: MME: EPE, 2007.

Cortez, L. A. B.; Lora, E. D. S.; Gómez, E. O. (Org.). **Biomassa para energia**. Campinas, SP. Editora da Unicamp, Brazil, 2008, 736p.

Demirbas, A., 2002. Relationships between heating value and lignin, moisture, ash and extractive contents of biomass fuels. **Energy, Exploration & Exploitation**, v.20, n.1, p.105-111. <https://doi.org/10.1260/014459802760170420>

Deutsches Institut für Normung - DIN 14918. **Determination of calorific value**. Berlin: CEN, 2010, 63p.

Deutsches Institut für Normung - DIN 14961-6. **Solid biofuels – Fuel specification and classes – Part 6: Non-woody pellets for non-industrial use**. Berlin: CEN, 2012, 16p.

Deutsches Institut für Normung - DIN 15210-1. **Solid biofuels – Determination of mechanical durability of pellets and briquettes – Part 1: Pellets**. Berlin: CEN, 2010, 12p.

Deutsches Institut für Normung - DIN 15289. **Determination of total content of sulfur and chlorine**. Berlin: CEN, 2011, 19p.

Escobar, J. F.; Coelho, S. T., Situação da biomassa lignocelulósica no Brasil: perspectivas para o uso dos *pellets* de madeira nos setores energo-intensivos. **Journal Brasileiro das Indústrias de Biomassa**, dezembro, 2013. <http://www.iee.usp.br/sites/default/files/biblioteca/producao/2013/Artigos%20de%20Periodicos/Escobar%20-%20Situacao%20da%20biomassa%20lignocelulosica0001%20%281%29.pdf>. Accessed: 20-05-2018

Fasina, O.O., Sokhansanj, S. Storage and handling characteristics of alfalfa pellets. **Powder Handling and Processing**, v.8, p.361–365, 1996.

Garcia, D. P.; Caraschi, J. C.; Ventrone, G. Caracterização energética de pellets de madeira. **Revista da Madeira**, v.24, p.14-16, 2013.

Gomes, P. A. Teoria da Carbonização da Madeira, In: **Uso da Madeira para fins Energéticos**, Publicação Fundação centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, v.1, p.27-42, 1980

Hahn, B. **Pellets for Europe**. Existing guidelines and quality assurance for fuel pellets. St. Pölten, Áustria, 2004, 20p.

Lehtikangas P. Storage effects on pelletised sawdust, logging residues and bark. **Biomass and Bioenergy**, v.19, p.287-93, 2000. doi: 10.1016/S0961-9534(00)00046-5

Lehtikangas, P. Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark, **Biomass and Bioenergy**, v.20, p.351-360, 2001. doi: 10.1016/S0961-9534(00)00092-1

Mani, S., Tabil, L.G., Sokhansanj, S. An overview of compaction of biomass grinds. **Powder Handling and Processing**, v.15, p.160–168, 2003.

Nilsson, D., Bernesson, S., Hansson, P.A. Pellet production from agricultural raw materials. A systems study. **Biomass and Bioenergy**, v.35, p.679–689, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.10.016>

Obernberger, I.; Thek, G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior. **Biomass and Bioenergy**, v.27, p.653–669, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.07.006>

Obernberger, I. Brunner, T. Barnthaler, G. Chemical properties of solid biofuels – significance and impact. **Biomass and Bioenergy**, v.30, n.11, p.973-982, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.06.011>

Obernberger, I.; Thek, G. **The pellet handbook**. The production and thermal utilization of pellets. London, Earthscan, England, 2010.

Oliveira, C. **Industrial woodpellets Brasil**, Sumário Executivo. Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável, Brazil, 2015, 100p.

Österreichisches Normungsinstitut. ÖNORM M7135. **Compressed wood or compressed bark in natural state – pellets and briquettes requirement and test specifications**. Vienna, Austria: 2000.

Parrella, R.A.C.; Rodrigues, J.A.S. Tardin, F. D.; Damasceno, C. M. B.; Schaffert. R. E. **Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/876558/1/Bol28.pdf>

Pereira, B. L. C. Propriedades de *pellets*: biomassas, aditivos e tratamento térmico, Dissertação de mestrado. Viçosa, MG, Brazil, 2014, 436p. <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/6843>

Souza, V.F. de, Parrella, R.A da C.; Menezes, C.B. de; Tardin, F.D.; May, A.; Emydgio, B.M.; Damasceno, C.M.B.; Schaffert, R.E. May, A. Influência da correção de estande na adaptabilidade e estabilidade de sorgo biomassa. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.3, p.371-381, 2014.

<http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v13n3p371-381>

Theerarattananoon, K., Xu, F., Wilson, J., Ballard, R., Mckinney, L., Staggenborg, S., Vadlani, P. Physical properties of pellets made from sorghum stalk, corn stover, wheat straw and big bluestem. **Industrial Crops and Products**, v.33, p.325-332,

2011. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.11.014>

Tolmasquim, M. T. **Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear**. Mauricio Tioimno Tolmasquim (coord). – EPE: Rio de Janeiro, Brazil, 2016.

Tumuluru, J.S. Effect of process variables on the density and durability of the pellets made from high moisture corn stover. **Biosystems Engineering**, v.119, p.44-57, 2014.

<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.11.012>

Zamorano, M.; Popov, V.; Rodríguez, M. L.; García-Maraver A. A comparative study of quality properties of pelletized agricultural and forestry lopping residues. **Renewable Energy**, v.36, p.3133-3140, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.020>