III CBCTEM
Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

PROPOSTA PARA A PADRONIZAÇÃO DA QUALIDADE DE PELLETS DE PINUS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA

Daniela Letícia Nones[1]
Martha Andreia Martha Brand[2]
Alana Spanhol[2]
Alexsandro Bayestorff da Cunha[2]

[1] Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) - Departamento de Engenharia Florestal
[2] Universidade do Estado de Santa Catarina

PROPOSTA PARA A PADRONIZAÇÃO DA QUALIDADE DE *PELLETS* DE PINUS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA

Resumo: O objetivo deste trabalho foi propor a elaboração de critérios para padronização da qualidade e estabelecimento de categorias de uso para os *pellets* produzidos a partir da madeira de *Pinus* spp. Foram analisadas as normas: europeia (EM), alemã, austríaca, sueca, italiana, norte americana e a da International Organization for Standardization (ISO 17225) que tratam da qualidade de pellets para geração de energia em diferentes categorias de uso. Também foram realizadas as análises da qualidade dos *pellets* de *Pinus* em oito amostras, com diâmetro de 6 mm, fornecidas tanto por produtores como por consumidores deste biocombustível. As propriedades analisadas foram: dimensões; densidade da unidade; densidade a granel; teor de umidade; composição química imediata; poder calorífico; durabilidade mecânica e teor de finos. A proposta de padronização contém duas categorias de uso: doméstico e setor de serviços (A) e uso industrial (B), sendo os parâmetros de controle as propriedades anteriormente mencionadas. Os pellets de *Pinus* spp. analisados atenderam todos os parâmetros de qualidade da norma ISO 17225-2. A adoção de padrões de qualidade para os pellets de *Pinus* spp. fortaleceria o setor produtivo; reduziria barreiras comerciais; impulsionaria o crescimento do consumo, e por fim aumentaria a credibilidade e confiabilidade deste biocombustível no Brasil.

Palavras-chave: categorias de uso, classes de qualidade, compactados de biomassa.

PROPOSAL FOR QUALITY STANDARDIZATION OF PINUS PELLETS FOR ENERGY GENERATION

Abstract: The aim of this study was to propose the development of criteria for quality standardization and establishing use categories for the pellets produced from the wood of *Pinus* spp. The analyzed standards were: European (EM), German, Austrian, Swedish, Italian, North American and the International Organization for Standardization (ISO 17225) that deal with the quality of pellets for energy generation in different use categories. Analysis of the quality of *Pinus* pellets were carried out on eight samples, with diameter of 6 mm, provided both by producers and by consumers of this biofuel. The evaluated properties were: diameter and length of the pellets; unity density; bulk density; moisture content; proximate chemical composition; calorific value; mechanical durability and fines content. The standardization proposal contains two use categories: domestic and service sector (A) and industrial use (B), where the control parameters of the properties are those previously mentioned. The *Pinus* spp. pellets analyzed met all quality parameters of the ISO 17225-2 standard. The adoption of quality standards for *Pinus* spp. pellets would strengthen the productive sector; reduce trade barriers; boost consumption growth, and increase the credibility and reliability of this biofuel in Brazil.

Keywords: use categories, quality classes, compacted of biomass.

1. INTRODUÇÃO

A peletização da biomassa envolve a compactação da matéria-prima, resultando no aumento de sua densidade energética. Este processo físico é importante para a melhoria do desempenho energético de bicombustíveis sólidos que possuem densidades aparentes baixas, tais como serragem, palhadas e outras culturas energéticas.

Além do aumento da densidade energética, as vantagens da biomassa densificada incluem a facilidade de manuseio, transporte e armazenamento, melhoria da combustibilidade,

menor emissão de partículas, volatilidade reduzida, e tamanho, densidade e qualidade uniformes (LIM et al, 2012; TUMULURU et al, 2011; WERTHER et al., 2000; KALIYAN e VANCE MOREY, 2009).

Em geral, a qualidade do pellet depende das propriedades químicas, mecânicas e físicas da biomassa (KALIYAN e VANCE MOREY, 2009; OBERNBERGER e THEK, 2004; ARSHADI et al, 2008), além de parâmetros relacionados ao processo de fabricação (GILBERT et al, 2009; LI e LIU, 2000).

O mercado consumidor de pellets no Brasil já percebeu as vantagens do uso da biomassa compactada, comparativamente a outros combustíveis. E quando se trata de qualidade do produto final as maiores exigências estão relacionadas às propriedades de poder calorífico e teor de cinzas dos pellets, que estão relacionadas com a matéria-prima que deu origem ao biocombustível. Isso porque o teor de cinzas impacta diretamente na quantidade de resíduos gerados após a utilização e em possíveis danos aos fornos e caldeiras, como corrosão e incrustações. Já o poder calorífico está relacionado com a quantidade de energia liberada pelo combustível.

Estas, juntamente com as propriedades de tamanho dos pellets (comprimento (L) e diâmetro (Ø)); densidade aparente ou a granel; teor de umidade na base úmida; durabilidade e teor de finos são os parâmetros utilizados nas normas de controle de qualidade deste produto energético em vários países do mundo.

As normas técnicas, conforme destacado por Dias et al. (2012), tem a função de apresentar um conjunto de procedimentos para análises de diversos tipos de produtos, inclusive *pellets* e briquetes. O objetivo das normas é garantir a uniformidade da biomassa compactada e diminuir as barreiras mercadológicas, criando assim, um mercado em que os biocombustíveis sólidos possam ser comercializados entre produtores e usuários de diferentes regiões.

Na Europa, a norma CEN/TS 14961-2: *Solid biofuels – Fuel specification and classes – Part 2: Wood pellets for non-industrial use*, foi desenvolvida no sentido de proceder a uniformização de critérios e o desenvolvimento de um sistema de normalização europeu único para os *pellets* de madeira. A mesma tem como objetivo garantir o fornecimento de compactados de madeira de elevada qualidade para fins de aquecimento e cria uma plataforma para um programa de etiquetagem (selo ENplus) (CARVALHO, 2011).

Na Alemanha foi desenvolvida a certificação DINplus, com base na norma DIN EN 15270, que estabelece padrões para *pellets* de madeira de elevada qualidade. Esta norma tem contribuído significativamente para o sucesso do mercado de *pellets* para aquecimento residencial no país. Hoje, é a mais importante certificação mundial de qualidade para esse produto (GARCÍA-MARAVER et al. 2011; DIAS et al. 2012).

Na Áustria a norma ÖNORM M 7135, publicada em 2000, estabelece exigências e especificações para madeira ou casca comprimida em seu estado natural para a formação de *pellets* e briquetes.

Na Suécia, quando a expansão do mercado no setor doméstico ocorreu, tornou-se necessário garantir a segurança operacional e as baixas emissões dos aquecedores residenciais que utilizavam o biocombustível, e as normas surgiram para que essas exigências fossem cumpridas, sendo estabelecida em 1999 (SELKIMÄKI e RÖSER, 2008). Da mesma forma, a norma italiana CTI-R04/05 do *Comitato Termotecnico Italiano* (2004), estabelece os parâmetros de qualidade de *pellets* derivados de biomassa.

Conforme Garcia (2010), os Estados Unidos seguem normas não oficiais recomendadas pelo *Pellet Fuels Institute*, que determinam padrões específicos para biocombustíveis sólidos desde 1995. São os próprios produtores que garantem a qualidade do produto informando as principais características.

O documento mais recente referente à caracterização de biocombustíveis sólidos é a norma ISO 17225: *Solid biofuels – Fuel specifications and classes,* que foi publicada no ano de 2014 e tem abrangência mundial. Esta norma surgiu do desejo dos países europeus em unificar

os parâmetros de qualidade para os combustíveis de biomassa produzidos e utilizados nos países daquele continente. De acordo com a *International Organization for Standardization* – ISO (2014), essa norma é composta por sete partes, sendo que a parte 2 (*Graded wood pellets*) é a que caracteriza os *pellets* de madeira.

O objetivo da série ISO 17225 é proporcionar princípios de classificação inequívocos e claros para biocombustíveis sólidos; para permitir a negociação eficiente de biocombustíveis; para permitir bom entendimento entre vendedor e comprador, bem como uma ferramenta para a comunicação com os fabricantes de equipamentos. Além disso, facilita os procedimentos de autorização por parte das autoridades, por meio de relatórios baseados nos critérios das normas (ISO, 2014).

As normas europeia, sueca, norte americana, italiana e a da ISO são divididas em categorias de uso ou classes de qualidade dos pellets. Quando existem três categorias ou classes, estas se referem ao uso doméstico, com parâmetros de qualidade mais restritivos; uso no setor de serviços (aquecimento em hotéis, motéis, academias, etc.), com parâmetros intermediários e no uso industrial com menor restrição de qualidade.

Esta distinção em classes de qualidade é importante principalmente para uso doméstico e em pequenos empreendimentos, porque segundo a *International Organization for Standardization* (ISO, 2014), as aplicações de pellets em edifícios residenciais, comerciais e públicos exigem um combustível de maior qualidade pelas seguintes razões: os equipamentos de pequena escala não tem controles sobre os processos de limpeza das cinzas após a combustão e da emissão dos gases da combustão; estes equipamentos não são operados e supervisionados por engenheiros ou profissionais capacitados para o manuseio de queimadores; os equipamentos estão muitas vezes localizados em bairros residenciais e populosos.

Embora já existam normas referentes a *pellets* de madeira, principalmente nos países da Europa e também uma norma mundial, a ISO, Nones (2014) destacou em seu trabalho de caracterização da cadeia produtiva de pellets em Santa Catarina que a elaboração de um documento normativo nacional aumentaria a credibilidade e confiabilidade do biocombustível produzido no Brasil. Além disso, facilitaria o fomento à comercialização e estimularia o crescimento do setor no país.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi propor a criação de critérios para padronização da qualidade e estabelecimento de categorias de uso para os *pellets* produzidos a partir da madeira de *Pinus* spp.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi realizada uma busca bibliográfica das normas publicadas mundialmente referentes a qualidade de *pellets* de madeira. Nesta etapa foram localizadas e analisadas as normas: europeia (EN), alemã, austríaca, sueca, italiana, norte americana. Para a realização deste trabalho foi adquirida a norma da International Organization for Standardization (ISO), por ter sido elaborada com base nas normas já existentes, ser a mais atual publicação sobre o tema e por ser uma iniciativa dos países europeus em unificar a padronização da qualidade dos pellets produzidos e utilizados naquele continente.

Foram realizadas as análises da qualidade dos *pellets* produzidos em Santa Catarina em oito amostras, com diâmetro de 6 mm, fornecidas tanto por produtores como por consumidores de *pellets*. Estas análises foram utilizadas como base para a obtenção dos valores limites e médios de cada propriedade incluída nos padrões de qualidade para *pellets* produzidos a partir da madeira de *Pinus* spp.

As amostras foram submetidas a análises laboratoriais para determinação das seguintes propriedades: dimensões, de acordo com a norma austríaca ÖNORM M 7135 (OSTRREICHES NORMUNGS INSTITUT, 2000); densidade da unidade conforme a norma alemã DIN 52182

(DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 1976); densidade a granel a partir da adaptação das normas ABNT NBR 6922 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1981) e EN 15103 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2005a); teor de umidade por meio da norma EN 14774-2 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2009); análise imediata de acordo com a norma ASTM 1762 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2007); poder calorífico seguiu a norma DIN 51900-2 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2000); durabilidade mecânica e teor de finos com base na norma EN 15210-1 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2005b).

A partir dos resultados obtidos foi calculado o valor médio, mínimo, máximo e desvio padrão de cada propriedade e os mesmos foram comparados com os parâmetros estabelecidos na norma ISO 17225-2, conforme Tabela 1 e 2. A comparação foi realizada com todas as categorias ou classes de qualidade contidas na norma.

Tabela 1. Especificações técnicas de *pellets* segundo as normas da Organização Internacional de Padronização (ISO 17225-2) para as classes de qualidade A e B.

Especificação	**ISO 17225-2**		
	A1	**A2**	**B**
T (mm)	Ø = 6±1 ou 8±1 3,15 < L ≤ 40	Ø = 6±1 ou 8±1 3,15 < L ≤ 40	Ø = 6±1 ou 8±1 3,15 < L ≤ 40
DA (kg/m³)	≥ 600	≥ 600	≥ 600
TU (%)	≤ 10,0	≤ 10,0	≤ 10,0
TC (%)	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2,0
PCL (MJ/kg)	≥ 16,5	≥ 16,5	≥ 16,5
DU (%)	≥ 97,5	≥ 97,5	≥ 96,5
FINOS (%)	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0

Fonte: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2014.
Legenda: T: tamanho dos pellets com relação ao comprimento (L) e diâmetro (Ø); DA: densidade aparente ou a granel; TU: teor de umidade na base úmida; TC: teor de cinzas; PCL: poder calorífico líquido; DU: durabilidade; FINOS: teor de finos.

Tabela 2. Especificações técnicas de *pellets* segundo as normas da Organização Internacional de Padronização (ISO 17225-2), para as classes de qualidade I.

	ISO 17225-2		
Especificação	**I1**	**I2**	**I3**
T (mm)	Ø = 6±1 ou 8±1 3,15 < L ≤ 40	Ø = 6±1 ou 8±1 ou 10±1 3,15 < L ≤ 40	Ø = 6±1 ou 8±1 ou 10±1 ou 12±1 3,15 < L ≤ 40
DA (kg/m³)	≥ 600	≥ 600	≥ 600
TU (%)	≤ 10,0	≤ 10,0	≤ 10,0
TC (%)	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3,0
PCL (MJ/kg)	≥ 16,5	≥ 16,5	≥ 16,5
DU	97,5 a 99,0	97,0 a 99,0	96,5 a 99,0
FINOS (%)	≤ 4,0	≤ 5,0	≤ 6,0

Fonte: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2014.
Legenda: T: tamanho dos pellets com relação ao comprimento (L) e diâmetro (Ø); DA: densidade aparente ou a granel; TU: teor de umidade na base úmida; TC: teor de cinzas; PCL: poder calorífico líquido; DU: durabilidade; FINOS: teor de finos.

A proposição das categorias de uso para os *pellets* de *Pinus* spp. foi elaborada com base na análise das normas internacionais e nos resultados das propriedades físicas e energéticas obtidas em laboratório.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão das propriedades físicas e energéticas dos *pellets* e a comparação dos valores em relação à norma ISO 17225-2 são apresentados nas Tabelas 3.

Considerando os valores médios obtidos a partir das amostras analisadas, todas as propriedades dos *pellets* atendem a todas as categorias de qualidade da norma ISO 17225-2. Se for avaliada a amplitude de variação dos dados, somente uma amostra apresentou um teor de cinzas superior ao admitido para a comercialização dos pellets para uso doméstico (Classe A1). E para o teor de finos, o maior valor obtido, juntamente com mais uma amostra, que teve o teor de finos de 1,65%, não estariam aptas à comercialização para o uso doméstico (A1 e A2) e comercial (B).

Tabela 3. Qualidade dos *pellets* produzidos em Santa Catarina em comparação com a norma ISO 17225-2.

Propriedades	Valor médio	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	ISO 17225-2					
					A1	A2	B	I1	I2	I3
Ø (mm)	6,35	6,09	6,94	0,28	S	S	S	S	S	S
L (mm)	17,19	10,48	23,14	5,23	S	S	S	S	S	S
DA (Kg/m³)	665	637	702	15,72	S	S	S	S	S	S
DU (kg/m³)	1,66	1,63	1,72	0,04	X	X	X	X	X	X
D (%)	99,04	98,30	99,46	0,50	S	S	S	S	S	S
FINOS (%)	0,96	0,54	1,70	0,50	S	S	S	S	S	S
TU (%)	7,79	5,91	8,91	0,99	S	S	S	S	S	S
TC (%)	0,38	0,16	0,77	0,15	S	S	S	S	S	S
TV (%)	81,29	80,13	82,42	0,87	X	X	X	X	X	X
CF (%)	18,33	17,37	19,36	0,79	X	X	X	X	X	X
PCL (MJ/Kg)	17,18	16,92	17,49	0,23	S	S	S	S	S	S

Nota: N = parâmetro não atende a norma; S = parâmetro atende a norma; X = valor não exigido pela norma.
Legenda: Ø = diâmetro do pellet; L = comprimento do pellet; DG = densidade aparente a granel; DU = densidade da unidade; D = durabilidade; F = teor de finos menor que 3 mm; TU = teor de umidade na base úmida; TC = teor de cinzas; TV = teor de voláteis; CF = teor de carbono fixo; PCL = poder calorífico líquido.

Com base na análise das normas internacionais e dos valores das propriedades relacionadas na Tabela 3, é possível indicar quais os principais parâmetros a serem contemplados em uma padronização de qualidade para *pellets* de *Pinus* spp. e quais categorias de uso poderiam ser incluídas nesta proposta.

Com relação as categorias de uso, a principal aplicação dos *pellets* é para a produção de calor. Como solução térmica, os *pellets* podem ter aplicação na indústria, no comércio e no setor residencial, através da instalação de caldeiras, recuperadores de calor e aquecedores. A substituição de sistemas de aquecimento que utilizam combustíveis fósseis ou outras formas de energia por sistemas a *pellets* apresentam, não só resultados ambientais favoráveis em longo prazo, mas também vantagens econômicas.

Assim, uma padronização da qualidade de *pellets* de *Pinus* sp. precisa apresentar, pelo menos, duas categorias de uso distintas. A primeira categoria deve abranger *pellets* para uso

no aquecimento doméstico e no setor de serviços. Quanto ao setor doméstico, sabe-se que a região sul do Brasil apresenta períodos de frio intenso e, assim como em países da Europa, existe a possibilidade dos mesmos serem utilizados nesse segmento.

O setor de serviços é representado por academias, que usam os *pellets* para o aquecimento da água de piscinas e, hotéis, motéis e pousadas, que usam o produto para o aquecimento do ambiente e da água. Além disso, outros estabelecimentos, como hospitais e lavanderias, têm demonstrando interesse em aderir a sistemas de aquecimento a *pellets*, em função das vantagens em relação a outros combustíveis.

A segunda categoria deve ser direcionada ao uso industrial, para utilização em queimadores e caldeiras para geração direta de calor ou para a produção de vapor de processo.

Nas normas analisadas, as propriedades que diferenciam as categorias de uso são os valores limítrofes do teor de umidade, poder calorífico, teor de cinzas, densidade aparente (granel), durabilidade e teor de finos. Para o uso doméstico e serviços os valores para estas propriedades são mais restritivos, visando principalmente: (a) menor geração de resíduos após a queima (menores teores de cinzas); (b) menor produção de fumaça (menor teor de umidade); (c) menor geração de poeira no armazenamento e manuseio (maior densidade a granel, maior durabilidade e menor teor de finos); (d) maior geração de calor (maior poder calorífico).

As propriedades anteriormente citadas sofrem influência de fatores relacionados ao processo produtivo e tipo de matéria-prima empregada para a produção dos *pellets*. O teor de umidade do *pellet*, a densidade da unidade e a densidade a granel são parâmetros influenciados pelas condições da matéria-prima, ou seja, pelo teor de umidade da biomassa e pelo tamanho da partícula a ser compactada.

Além disso, o teor de materiais voláteis, o teor de carbono fixo e o teor de cinzas são propriedades energéticas que também sofrem influência do tipo de biomassa utilizada. Segundo Werkelin et al. (2010), o teor de cinzas (teor de materiais inorgânicos) é um parâmetro muito importante, pois está relacionado com a formação de incrustações e corrosão nos equipamentos utilizados na queima do combustível, provocando perda de desempenho.

A densidade da partícula, a densidade a granel, o poder calorífico, a durabilidade mecânica e a formação de finos, também podem sofrem alteração em função da pressão e temperatura aplicadas no momento da compactação. Segundo Vinterbäck (2004), a densidade e a durabilidade são parâmetros importantes quando se trata do armazenamento e manipulação dos pellets, pois estes são suscetíveis ao desgaste mecânico, que leva à produção de partículas finas ou de pó durante o transporte e armazenamento. Para Lehtikangas (2000), as partículas finas e a poeira também podem prejudicar os sistemas de alimentação das caldeiras. Finalmente, a poeira pode contribuir para riscos de incêndio e explosão durante o manuseio e armazenamento.

Dessa forma, as propriedades físicas, mecânicas e energéticas mencionadas, precisam constar na padronização da qualidade de *pellets* produzidos a partir da madeira de *Pinus* spp., conforme Tabela 4.

A categoria de uso A refere-se a usuários do setor residencial e setor de serviços. Nessa categoria, os valores para teor de umidade, teor de cinzas, poder calorífico, durabilidade mecânica, teor de finos e teor de materiais voláteis e carbono fixo devem ser mais restritivos do que na categoria B, em que os *pellets* são destinados ao uso no setor industrial.

Além das propriedades discutidas anteriormente, o teor de voláteis e de carbono fixo foram incluídos nesta proposta pois estas duas propriedades indicam o tempo de residência do combustível na grelha de queima e o potencial de geração de fumaça durante a combustão. Werther *et al.* (2000) mencionam que combustíveis com alto índice de carbono fixo devem ter queima mais lenta, implicando maior tempo de residência destes dentro dos queimadores, em comparação com outros que tenham menor teor de carbono fixo.

Tabela 4. Categorias de uso, propriedades e valores de referência para padronização da qualidade de *pellets* de *Pinus* spp.

Especificação	***Pellets* de *Pinus* spp.**	
	A	**B**
Tamanho (mm)	Ø = 6 ± 1 L= < 4 x Ø	Ø = 6 ± 1 L= < 4 x Ø
Densidade Aparente (kg/m³)	≥ 600,0	≥ 600,0
Densidade da Unidade (g/cm³)	≥ 1,5	≥ 1,5
Teor de Umidade (%)	≤ 10,0	≤ 12,0
Teor de Cinzas (%)	≤ 0,7	≤ 1,2
Poder Calorífico (MJ/kg)	≥ 18,0	≥ 16,0
Durabilidade Mecânica (%)	≥ 97,5	≥ 96,5
Teor de Finos (% < 3 mm)	≤ 1,0	≤ 1,5
Teor de Carbono Fixo (%)	≥ 16,5	≥ 15,0
Teor de Materiais Voláteis (%)	≤ 82,5	≤ 83,5

Nota: Ø = diâmetro e L = comprimento.

Para o tamanho (diâmetro e comprimento) os valores deverão ser iguais para a categoria A e B, em função de que a matriz peletizadora mais comumente utilizada para a fabricação dos *pellets* é de 6 mm. Os requisitos também poderão ser os mesmos para a densidade aparente e densidade da unidade.

A adição de ligantes não é comum na produção de pellets de *Pinus* spp. por esta ser uma matéria-prima lignocelulósica, sendo que a lignina é a responsável pelo empacotamento das partículas no compactado. Portanto, o uso eventual de agentes ligantes deve ser mencionado no produto. Este procedimento também é descrito na norma italiana (COMITATO TERMOTECNICO ITALIANO, 2004).

A alteração da matéria-prima que dá origem aos pellets requer a criação de valores limítrofes diferentes, porque as propriedades físicas, químicas e energéticas variam em função do tipo de biomassa, conforme já mencionado anteriormente, e estas características são transferidas para os pellets produzidos a partir destas. Neste sentido, outros materiais que tem demonstrado potencial para a produção de pellets como casca e palha de arroz (MISSAGIA et al, 2011; LIU et al., 2013); *Eucalyptus* spp. (GARCIA, 2010); bagaço de cana-de-açúcar (ERLICH et al., 2005) e resíduos agroindustriais (DIAS et al, 2012) necessitam de parâmetros específicos.

4. CONCLUSÕES

- Os pellets de *Pinus* spp. analisados atenderam todos os parâmetros de qualidade da norma ISO 17225-2.
- As propriedades que devem estar contidas na padronização da qualidade dos pellets são: dimensões, densidade da unidade e a granel, teor de umidade, teor de cinzas, poder calorífico, durabilidade mecânica, teor de finos, teor de carbono fixo e teor de materiais voláteis.
- A proposta de padronização da qualidade de pellets de pinus incluiu duas categorias de uso: (A) uso doméstico e no setor de serviços e (B) uso industrial.
- A adoção de padrões de qualidade para os pellets de *Pinus* spp. fortalece o setor produtivo, reduzindo barreiras comerciais e impulsionando o crescimento do consumo deste biocombustível.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1762: Determination of Nitrogen Oxides, Carbon Monoxide and Oxygen Concentrations in Emissions from Natural Gas-Fired Reciprocating Engines, Combustion Turbines, Boilers and Process Heatersusing Portable Analyzers. West Conshohocken, 2007.

ARSHADI M. et al. The influence of raw material characteristics on the industrial pelletizing process and pellet quality. FUEL PROCESSING TECHNOLOGY, 89 (12), p. 1442-1447, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6922. Carvão vegetal - Ensaios físicos - Determinação da massa específica - Densidade a granel. Rio de Janeiro, 1981.

CARVALHO, N. P. R. Implementação do plano de controlo, inspeção e ensaio na produção de *pellets* de madeira. 2011. 43f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Instituto Politécnico de Viseu, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Portugal, 2011.

COMITATO TERMOTECNICO ITALIANO. Biocombustibili solidi: Caratterizzazione del pellet a fini energetici. Maggio, 2004. 18p.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 51900: Determining the gross calorific value of solid and liquid fuels using the bomb calorimeter, and calculation of net calorific value. Berlin, 2000.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 52182: Testing of wood; determination of density. Berlin, 1976.

DIAS, J. M. S. et al. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. Brasília, DF: EMBRAPA AGROENERGIA, 2012. 132 p.

ERLICH, C. et al. Thermochemical characteristics of sugar cane bagasse pellets. FUEL, *84*(5), p. 569-575, 2005.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - Technical Specification CEN/TS 14774-2:2009: Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 2: Total moisture - Simplified method, 2009.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - Technical Specification CEN/TS 15103: Solid biofuels – Methods for the determination of bulk density. London, 2005a.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – Technical Specification CEN/TS 15210-1: Methodos for determination mechanical durability of pellets. Solid biofuels – fuel specification and classes. London, 2005b.

GARCIA, D. P. Caracterização química, física e térmica de *pellets* de madeira produzidos no Brasil. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Guaratinguetá - Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

GARCÍA-MARAVER, A. et al. A review of European standards for pellet quality. RENEWABLE ENERGY, Oxford, v. 36, n.12, p. 3537-3540, 2011.
GILBERT, P. Effect of process parameters on pelletisation of herbaceous crops. FUEL, 88 (8), p. 1492-1497, 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 17225-2. Solid Biofuels – Fuel Specifications and classes – Part 2: Graded wood pellets. Genebra, Suíça. 2014. 9p.

KALIYAN, N.; VANCE MOREY, R. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. BIOMASS BIOENERGY, 33 (3), p. 337-359, 2009.

LEHTIKANGAS, P. Storage effects on pelletised sawdust, logging residues and bark. BIOMASS BIOENERG., 19(5), p. 287-293, 2000.

LI, Y.; LIU, H. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. BIOMASS BIOENERG., 19(3), p. 177-186, 2000.

LIM, J. et al. A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy, RENEW SUSTAIN. ENERGY REV, 16 (5), p. 3084-3094, 2012.

LIU, Z. et al. The properties of pellets from mixing bamboo and rice straw. RENEWABLE ENERGY, v. 55, p. 1–5, 2013.

MISSAGIA, B. et al. Physicomechanical properties of rice husk pellets for energy generation. ENERGY FUELS, 25 (12) (2011), pp. 5786–5790.

NONES, D. L. Cadeia produtiva de pellets e briquetes de biomassa residual para geração de energia em Santa Catarina. 2014. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014.

OBERNBERGER, I.; THEK, G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. BIOMASS BIOENERGY, 27, p. 653–669, 2004.

OSTRREICHES NORMUNGS INSTITUT. ONORM M 7135. Compressed wood or compressed bark in natural state - Pellets and briquettes, Requirements and test specifications. Vienna, 2000.10p.

SELKIMÄKI, M.; RÖSER, D. Pellet Markets in Sweden. METLA, Joensuu, 2008. 17p.

TUMULURU, J. S. et al. A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. BIOFUELS BIOPROD. BIOREFIN, 5 (6), p. 683-707, 2011.

VINTERBACK J. Pellets 2002: The first world conference on pellets. BIOMASS BIOENERG., 27(6), p. 513-520, 2004.

WERKELIN, J. et al. Chemical forms of ash-forming elements in woody biomass fuels. FUEL, 89(2), p. 481-493, 2010.

WERTHER, J. et al. Combustion of agricultural residues. PROGRESS IN ENERGY AND COMBUSTION SCIENCE, 26 (1), p. 1-27, 2000.