

Análise de pellets de madeira produzidos a partir de diferentes composições

Bruno Silva Camargo (UTFPR) bs.camargo@hotmail.com

Aldo Braghini Júnior (UTFPR) aldo@utfpr.edu.br

Sâmique Kyene de Carvalho Araújo Camargo (UNESP) samiquekyene@hotmail.com

José Cláudio Caraschi (UNESP) caraschi@unesp.br

Cristiane Karyn de Carvalho Araújo (UNESP) criskaryn.carvalho@hotmail.com

Resumo:

Os pellets de madeira são caracterizados como um tipo de lenha, geralmente produzidos a partir de serragem ou serradura de madeira (provenientes de resíduos) refinada, seca e compactada. Este trabalho tem como objetivo avaliar e comparar os pellets produzidos a partir de diferentes composições, e determinar as características químicas, físicas e térmicas dos pellets para fins energéticos. Para isso adotou-se como base as normas de padrões internacionais. Foram analisados três tipos de pellets: Pinus ssp. com 15% de teor de finos de carvão vegetal (P1), maravalhas de Pinus ssp.(P2) e maravalhas de Eucalyptus ssp.(P3). As análises de caracterização foram realizadas conforme as normas padrões. As análises realizadas indicaram que os pellets P1 tiveram maior valor de PCS_{0%} com 20,52MJ/kg este é o poder calorífico superior com teor de umidade zero. Os pellets P1 se comparados com os demais apresentam maior poder energético. Com relação ao teor de umidade, os resultados mostraram que todos os pellets atingiram esse parâmetro de qualidade. Quanto à durabilidade mecânica todos os pellets estão acima dos valores mínimos exigidos pela norma. A densidade a granel dos biocombustíveis também atingiram esse parâmetro de qualidade, pois todos mostraram valores superiores a 600 kg/m³ que é o mínimo exigido pelas normas (Alemã, Austríaca, Sueca e Americana).

Palavras chave: Pellets, Biomassa Vegetal, Poder Calorífico.

Analysis of wood pellets produced from different compositions

Abstract

Wood pellets are characterized as a type of firewood, produced from sawdust or wood sawdust (refuse origin) refined, dried and compacted. This work aims to compare the pellets produced from different compositions, and determine the chemical, physical and thermal characteristics of pellets for energy purposes. This was adopted as the basis for international standards. Three types of pellets were analyzed: Pinus ssp. with 15% content of charcoal fines (P1), excelsiors of Pinus ssp. (P2) and Eucalyptus ssp. (P3). As characterization analyzes were performed according to standard standards. The analyzes carried out indicated that P1 pellets had a higher PCS_{0%} value with 20.52MJ / kg. This is the upper calorific value with zero moisture content. The P1 pellets are compared with the others for the greater energy power. Regarding the moisture content, the results showed that all pellets reached this quality parameter. For mechanical durability all pellets are above the minimum values required by the standard. The bulk density of biofuels is also a parameter of quality, since all models are above

600 kg / m³ which are minimum required by the standards (German, Austrian, Swedish and American).

Key-words: Pellets, Vegetable Biomass, Calorific Power.

1. Introdução

Uma das fontes de energia renováveis e com grande potencial de desenvolvimento para os próximos anos é a biomassa. Esta é considerada uma das principais alternativas para substituir fontes de energia como o petróleo e o carvão mineral e, conseqüentemente minimizar a dependência de combustíveis fósseis. A utilização racional da biomassa é de grande importância ambiental para reduzir a emissão de gases provenientes do efeito estufa e o consumo de outros combustíveis.

Os pellets estão entre as fontes de energia de biomassa mais utilizadas no mundo (TOSCANO et al., 2013; ARRANZ et al., 2015). Os biocombustíveis apresentam características superiores aos outros produtos de biomassa, como por exemplo, bolachas de madeira e briquetes, especialmente em relação à densidade de massa e energia (ARRANZ et al., 2015). Essa densidade maior resulta em menores custos de transporte e maior eficiência em relação à conversão de energia, com propriedades adequadas para uso em escala residencial e industrial. A produção mundial de pellets teve um crescimento acelerado nos últimos anos, de 7 a 19 milhões de toneladas de 2006 a 2012 (FAO, 2012), principalmente devido ao aumento da demanda gerada pelo meio ambiente políticas e objetivos de uso de bioenergia na Europa (DUCA et al., 2014).

Os pellets podem ser produzidos a partir de várias matérias prima, tais como casca de madeiras, maravalhas, serragem, bagaço de cana de açúcar, bambu, palha de milho, entre outros resíduos caracterizados como lignocelulósicos, ou seja, materiais que contenham lignina em sua composição.

Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar e comparar os pellets produzidos a partir de diferentes composições, e determinar as características químicas, físicas e térmicas dos pellets para fins energéticos, comparando-os com as normas padrões internacionais.

2. Referencial Teórico

2.1 Biomassa Vegetal

A biomassa vegetal pode ser considerada como fonte de energia solar, já que através do processo de fotossíntese, as plantas absorvem CO₂ da atmosfera e transformam-no em carboidratos. Durante o crescimento das plantas elas absorvem praticamente todo o dióxido de carbono emitido no processo de queima, realizando assim o ciclo do carbono. Isso acontece com os biocombustíveis, pois apresentam baixa emissão líquida de carbono, diferentemente dos combustíveis fósseis (QIU, 2013).

Para minimizar a quantidade de CO₂ presente na atmosfera e conseqüentemente evitar maiores desperdícios de resíduos agroindustriais, a utilização da biomassa vegetal surge como uma boa alternativa de fonte de energia (GARCIA, 2010; CAMARGO, 2013). Países desenvolvidos como Suécia e Estados Unidos utilizam a biomassa vegetal em grande escala. Já em alguns países subdesenvolvidos é considerada como única fonte de energia disponível, como por exemplo, a Etiópia (GARCIA, CARASCHI e VENTORIM, 2017).

Para qualificar a biomassa em relação a seu potencial energético, é fundamental analisar a composição química da mesma (BRAND,2010).

Dentre os processos de análise química, a análise imediata visa avaliar a quantidade de carbono fixo, teor de cinzas, materiais voláteis e umidade presentes na biomassa para fins energéticos (GARCIA, 2017).

2.2 Pellets

A necessidade atual de fontes de energia renováveis e caracterizadas como limpas, fez com que os pellets surgissem como uma fonte de energia alternativa, pois possuem grande potencial energético, e proporciona menor impacto ambiental, já que utiliza resíduos industriais e florestais em sua composição.

A matéria prima utilizada está relacionada ao teor de cinzas do material e ao Poder Calorífico Superior (PCS), que são alguns dos principais parâmetros de qualidade de pellets para fins energéticos. No processo de produção estão relacionados fatores como densidade a granel e durabilidade mecânica dos materiais (DUCA et al., 2012). Porém, o teor de umidade, teor de cinzas e o poder calorífico superior, são considerados como as principais características qualitativas em relação ao potencial energético da biomassa (FURTADO et al., 2012). Tais parâmetros são essências para identificar qual o queimador será utilizado e a quantidade de energia disponível, durante a transformação da biomassa em energia térmica.

Os pellets se destacam por serem sólidos e de fácil manuseio, além de necessitarem de pouco espaço para armazenamento e possuem alta densidade energética. A geometria dos pellets proporciona algumas vantagens se comparado a outros materiais, já que suas dimensões permitem maior facilidade no transporte do mesmo, que pode ser embalado em vários tamanhos de embalagens pré-definidas. Outra vantagem, esta relacionada à alimentação de sistemas industriais, sendo esta tanto automática quanto manual como em aquecedores residenciais, já que é um produto de origem natural e sua composição não contém elementos tóxicos (GARCIA, CARASCHI e VENTORIM, 2017).

Os materiais e a qualidade dos produtos desenvolvidos para a combustão dos pellets têm capacidade de redução significativa das emissões gasosas atmosféricas (poluentes que podem causar doenças ao ser humano), principalmente se comparado com outros combustíveis à base de biomassa. Devido uma das fontes de matéria-prima para a fabricação dos pellets serem os resíduos provenientes da limpeza florestal (resíduos florestais), quando reaproveitado estes materiais, haverá uma contribuição significativa na redução do risco de incêndios florestais. A Tabela 1 apresenta as principais características dos pellets.

Principais características dos pellets	
Dimensões	Diâmetro: 4-10 mm
	Comprimento: 10-40 mm
Poder Calorífico Superior	16,9 – 22,0 MJ/kg (4,04 – 5,26 kcal/kg)
Teor de umidade	6 – 10% (Base Seca)

Teor de Cinzas	Menor que 0,5%
Matéria-prima	Serragem, maravalha e resíduos agroflorestais
Densidade à granel	650 – 700 kg/m ³
Conversão termoelétrica	1,0 MWh = 3600MJ $\approx$ 212 kg de pellets

Fonte: Adaptado de Garcia (2017)

Tabela 1- Principais características dos pellets

A Tabela 2 apresenta uma comparação entre os pellets e outros combustíveis

Comparação entre os pellets em relação a outros combustíveis	
Comparação com óleo leve	1000 litros de óleo $\approx$ 2,1 t de pellets
	1 t de óleo $\approx$ 2,5 t de pellets
Comparação com cavacos de madeira	1 m ³ de cavaco de madeira $\approx$ 0,28 m ³ de pellets $\approx$ 0,18 t de pellets

Fonte: Adaptado de Garcia (2017)

Tabela 2- Comparação entre pellets e outros combustíveis

2.2.1 Composições e propriedades de pellets

Os pellets de madeira podem ser produzidos a partir de resíduos agroflorestais tais como: maravalhas, aparas, cascas, cavacos, serragem entre outros resíduos lignocelulósicos. Estes materiais são processados a alta temperatura e compactados a elevada pressão, onde serão produzidos na forma de cilindros que varia de 6,0 a 10,0 mm de diâmetro e seu comprimento esta compreendido entre 5 a 30 mm. Os biocombustíveis considerados de boa qualidade possuem densidade que varia em torno de 600 a 750 kg/m³. Para produzir pellets, todas as espécies de madeiras podem ser utilizadas, porém nos Estados Unidos e Canadá, as madeiras de coníferas, que são madeiras caracterizadas como *softwoods* ou madeiras mole são as mais utilizadas, pois possuem maior eficiência durante a produção se comparado às folhosas, que são madeiras consideradas *hardwood* ou madeiras duras, isso se da devido às propriedades físicas e teor de lignina (GARCIA, 2017). Além destas propriedades outro fator importante é o teor de umidade dos materiais, visto que a umidade de madeira geralmente esta abaixo de 12%, e quanto menor o teor de umidade maior é a expectativa de obter alto poder calorífico e consequentemente grande potencial energético. Na Figura 1, pellets de madeira produzidos a partir de serragem.



Fonte: GUO et al (2013)

Figura 1- Pellets de serragem de madeira

Novos projetos industriais surgiram com o objetivo de plantar, além de Pinus e Eucalyptus, acácia negra (*Acacia mearnsi*), bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*), capim-elefante (*Pennisetum sp*) e bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). No entanto, nem todas as biomassas agroflorestais são adequadas para a produção de pellets, principalmente devido a elementos minerais responsáveis pela formação de cinzas residuais. A palha de arroz, por exemplo, possui cerca 15% de teor de cinzas, sendo valores acima de 4% considerados impróprios para combustão devido ao alto teor de sílica, o que pode causar corrosão e desgaste excessivo nos queimadores (DIAS et al., 2012).

2.2. Normas utilizadas para padronização e caracterização de pellets

No Brasil não há normas para padronização e caracterização de pellets de madeira ou demais resíduos. Adotam-se algumas normas brasileiras específicas para briquetes e carvão vegetal que são adaptadas para o uso de pellets. Assim, utiliza-se como critérios e referencial as normas europeias e americanas. A normalização é utilizada para garantir a qualidade exigida pelo cliente, visando sempre melhoria contínua. As normas padrão de pellets são: sueca (SS187120), austríaca (ONORM M7135), alemã (DIN 51731) e Estados Unidos seguem normas oficiais recomendadas pelo PFI (Pellets Fuel Institute).

Na Tabela 3, esta contida as normas Austríaca e sueca.

Especificação	Unid.	Áustria ÖNORM M7135		Suécia SS 18 71 20		
		madeira	casca	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Diâmetro [Ø]	mm	4 a 20	20 a 120		4 ≤ Ø ≤ 10	
Comprimento	mm	máx. 100	máx. 400	4. Ø	5. Ø	6. Ø
Densidade a granel	kg/m ³		> 600	≥ 600	≥ 500	
Finos < 3mm	%		máx. 1	≤ 0,8	≤ 1,5	
Densidade Real	kg/m ³		≥ 1,0			
Teor de umidade	%	≤ 12	≤ 18	≤ 10		≤ 12
Teor de cinzas	%	≤ 0,50	≤ 6,0	≤ 0,7	≤ 1,5	
PCI	MJ/kg		≥ 18		16,9	15,1
Enxofre	%	≤ 0,04	≤ 0,08	≤ 0,08		Indicar
Cloro	%	≤ 0,02	≤ 0,04	≤ 0,03		Indicar
Aditivos	%	máx. 2 (natural)		Indicar na embalagem		
Durabilidade	%		≥ 95,0	≥ 95,0		

Fonte: Garcia (2010)

Tabela 3- Normas de pellets austriaca e sueca

A Tabela 4 apresenta as principais especificações para as normas alemã e americana de pellets de madeira.

Especificação	Unid.	Alemanha	EUA			
		DIN 51731	Recomendações PFI ¹			
		HP1 ²	SP ³	P ⁴	S ⁵	U ⁶
Diâmetro [Ø]	mm	4 ≤ Ø ≤ 10	6,35 a 7,25			
Comprimento	mm	≤ 5. Ø	≤ 25,4			
Densidade a granel	kg/m ³	> 600	640 a 736	608 a 736		
Finos < 3mm	%	máx. 1	≤ 0,50			
Teor de umidade	%	< 12	≤ 6	≤ 8 ≤ 10		
Teor de cinzas	%	< 1,5	< 1	< 3		
PCI	MJ/kg	17,5 a 19,5	Especificar o teor			
Durabilidade	%	≥ 95,0	≥ 97,5	≥ 95,0		

¹ PFI=Pellets Fuel Institute; ² HP1=Holz pellets; ³ SP=Super Premium, ⁴ P=Premium; ⁵ S=Standard; ⁶ U=Utilitário

Fonte: Garcia (2010)

Tabela 4 – Normas de padrões Alemã e Americana

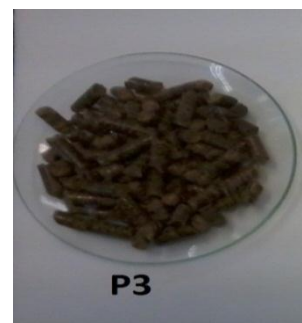
3. Metodologia

Este trabalho foi realizado nos Laboratórios de Análise Instrumental e Energia da Biomassa do Campus de Itapeva da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP).

3.1 Materiais

Para realização desta pesquisa foram utilizados três tipos de pellets de madeira, designadas como P1 - pellets de Pinus ssp. com 15% em massa de finos de carvão vegetal, P2 - pellets de maravalhas de Pinus ssp. e P3 - pellets de maravalhas de Eucalyptus ssp., conforme apresentados na Figura 2.

Os pellets P1 foram cedidos por uma empresa do setor de produção de pellets localizada na cidade de Itapeva-SP, já os pellets P2 e P3 foram cedidos por uma empresa do Estado de São Paulo (Figura 2).



Fonte: Camargo (2013).

Figura 2 - Pellets analisados

3.2 Métodos

Para todas as análises foram realizadas 3 repetições, com exceção ao poder calorífico, pois para este foram realizadas 5 repetições.

3.2.1 Teor de umidade dos pellets

O teor de umidade dos pellets foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 9656.

3.2.2 Determinação da análise imediata

Foi determinada segundo a norma ABNT NBR 8112/83. Determinou-se o teor de cinzas, teor de materiais voláteis e carbono fixo.

3.2.3 Determinação da densidade a granel

Para determinação da densidade a granel adotou-se a norma ABNT NBR 6922, para carvão vegetal. Para isso utilizou-se um cilindro de PVC com volume conhecido de 5,0 litros, este foi preenchido até a borda com os pellets e, assim através de uma balança foi calculada sua massa.

3.2.4 Determinação do dimensionamento dos pellets

O diâmetro e o comprimento dos pellets foram determinados de acordo com a norma austríaca ONORM M 7135, através da medida individual do comprimento e do diâmetro de quarenta pellets selecionados aleatoriamente, de cada amostra. Com o auxílio de um paquímetro digital verificou-se o diâmetro e altura de cada um deles.

3.2.5 Determinação do poder calorífico

Os materiais foram caracterizados quanto ao poder calorífico superior segundo a norma ABNT NBR 8633/84 em um calorímetro IKA WERKE, modelo C 5000 Control conforme Figura 3.



Fonte: Camargo (2013).

Figura 3 - Calorímetro IKA WERKE, modelo C 500 Control

3.2.6 Determinação da durabilidade mecânica

Para determinar a durabilidade mecânica dos pellets, utilizou-se a norma CEN/TS 15210-1 de 2005, onde se usou 500,0 g de cada amostra de pellets, que foram colocados numa caixa fechada, de 300x300x125 mm confeccionada em MDF de 15mm de espessura (Figura 6). Para obter a quantidade de pellets retido foi utilizada uma peneira de 3,0 mm. Assim com a massa retida foi calculada a durabilidade mecânica.

4. Resultados

4.1. Caracterização dos pellets

Os resultados com relação às características físicas dos pellets estão apresentados na Tabela 5. Adotou-se como literatura a norma austríaca (ONORM M7135), pois esta apresentou em alguns parâmetros maior rigorosidade.

Propriedades Físicas	Unidade	P1	P2	P3	Média	DP	CV	Literatura
Diâmetro Médio	Mm	6,67	6,67	6,66	6,67	0,01	0,15	4 a 10
Comp. Médio	Mm	14,41	11,23	16,15	13,93	2,49	17,9	11,5 a 22,1
Comp. Máximo	Mm	26,06	20,86	35,12	27,35	7,22	26,40	19,2 a 34,4
Comp. Mínimo	Mm	5,55	6,74	6,41	6,23	0,61	9,79	6,6 a 13,2
Pellets/ 100g	Unidade	232	398	273	301	86,47	28,73	198 a 545
Densidade a Granel	kg/m ³	660,61	645,60	675,00	660,40	14,70	2,23	>600
Durab. Mecânica	%	96,73	95,91	98,83	97,16	1,51	1,55	>95

Fonte: Camargo (2013).

Tabela 5: Propriedades físicas dos pellets

Em relação à quantidade de pellets contidos em 100 gramas, houve variação de acordo com a espécie de cada material, variando de 232 para os pellets P1 a 398 para os pellets P2, resultando assim em 28,73 de coeficiente de variação em relação à análise das médias. Quanto ao comprimento máximo os resultados mostraram que teve diferença significativa entre os pellets P2 e P3, cujos valores corresponderam respectivamente a 20,86 e 35,12 mm, resultando em um coeficiente de variação de 26,40.

Se tratando de densidade a granel dos materiais valores superiores a 600 kg/m³ são aceitos para quase todas as normas indicadas para combustíveis com elevado padrão de qualidade. Na Europa, mais especificamente na Suécia, se aceita valores de pellets acima de 500 kg/m³ para densidade a granel, usada geralmente em sistemas industriais. Segundo Obernbenrger e Thek (2004) apud Garcia (2012) ressaltam que menores valores de densidade a granel geram maior custo de transporte, o que afeta a capacidade de estocagem de produtores e consumidores.

4.2. Análise Imediata dos pellets

Os resultados da análise imediata dos pellets são apresentados conforme Tabela 6.

Propriedades	P1	P2	P3	Média	DP	CV	Literatura
Análises, %	(% massa)						
Carbono fixo	22,30	18,03	13,74	18,02	4,28	23,8	14,56 a 15,63
Materiais voláteis	76,62	80,86	85,27	80,92	4,33	5,35	83,4 a 84,9
Teor de cinzas	1,08	1,11	0,99	1,06	0,06	5,89	< 0,6
Teor de umidade	9,02	12,36	4,95	8,78	3,71	42,3	<12

Fonte: Camargo (2013)

Tabela 6: Análise química imediata dos pellets

De maneira global os pellets apresentaram valores elevados de teor de voláteis, variando entre 76,62% para os pellets P1 a 85,27% para P3. Elevadas quantidades de carbono fixo devem ser queimadas de forma mais lenta (BRITO E BARRICHELLO,1982)

4.3 Análise térmica dos pellets

A densidade a granel é de grande importância para quantificar o volume de materiais que possuem geometrias irregulares, já que fornece informações úteis no setor logístico, pois considera os espaços vazios entre as partículas, durante o transporte destes materiais. A densidade a granel é importante para obter a densidade energética dos materiais. Para a realização dos cálculos da densidade a granel foram utilizados os seguintes dados conforme apresentados na Tabela 7.

Materiais	Unid.	P1	P2	P3	Média	DP	CV	Literatura
Média	Kg	3,303	3,228	3,375	3,302	0,074	0,022	3,19-3,24
Volume do cilindro	m ³	0,005	0,005	0,005	0,005	---	---	0,005
Densidade a granel	kg/m ³	660,6	645,6	675,1	660,4	14,76	0,022	>600

Fonte: Camargo (2013).

Tabela 7: Determinação da densidade a granel dos pellets

Nota-se que a partir da densidade a granel pode-se obter o grau de compactação de um material com relação ao outro. Na Tabela 8 estão apresentados os valores energéticos dos pellets.

Propriedades	Unid.	P1	P2	P3	Média	DP	CV	Literatura
PCS _{0%}	MJ/kg	20,52	20,25	20,16	20,31	0,19	0,92	-
PCI _{0%}	MJ/kg	19,16	18,89	18,80	18,95	0,19	0,99	>18
PCS _{TU%}	MJ/kg	18,67	17,75	19,16	18,53	0,72	3,86	18,71-19,48
PCI _{TU%}	MJ/kg	17,32	16,39	17,8	17,17	0,72	4,18	17,29-18,13
Densidade a granel	kg/m ³	660,64	645,58	675,1	660,44	14,76	2,24	638,0-647,4
Teor de umidade	%	9,02	12,36	4,95	8,78	3,71	42,28	6,76-10,25
Densidade energética	GJ/m ³	11,44	10,58	12,02	11,35	0,72	6,37	11,08-11,57

Fonte: Camargo (2013).

Tabela 8: Valores energéticos dos pellets

O PCS foi obtido a partir de uma bomba calorimétrica, assim com este valor foi calculado o PCI através da seguinte equação: $PCI = PCS - 1356,52$, considerando o teor de umidade dos pellets. Estes apresentaram baixo coeficiente de variação, conforme observado na Tabela 7. O maior valor de PCS_{0%} obtido foram os pellets P1 com 20,52MJ/kg, já o PCS_{TU%} com maior valor foi os pellets P3 com 19,16 MJ/kg, isso demonstra que o teor de umidade influencia significativamente no poder calorífico dos pellets. Outro fator que pode ter impactado neste parâmetro de qualidade é que nos pellets P1 teve uma adição de 15% de finos de carvão vegetal, este fez com que os materiais apresentassem maior poder calorífico superior e inferior a umidade zero.

Multiplicando-se o valor calculado do PCI pela densidade a granel, obtém-se a densidade energética dos pellets. Neste quesito os pellets P3 apresentaram maiores valores, sendo este de 12,02 GJ/m³. Este valor está diretamente relacionado ao poder calorífico e teor de umidade dos materiais.

4.4 Durabilidade mecânica dos pellets

Na Tabela 8 estão apresentados os dados relacionados ao ensaio de durabilidade mecânica dos materiais. Nota-se que quanto maior o teor de umidade menor será a durabilidade mecânica dos pellets.

Pellets	Teor de Umidade (%)	Massa inicial (g)	Massa retida (g)	Durabilidade (%)
P1	8,86	499,15	16,33	96,73
P2	9,66	449,46	18,41	95,91
P3	4,74	502,31	5,88	98,83
Literatura	<12	497 a 508,3	9,6 a 18,85	>95

Fonte: Camargo (2013)

Tabela 8 - Durabilidade mecânica dos pellets de madeira.

Analizou-se que existe uma relação entre o teor de umidade de cada amostra e sua durabilidade mecânica, os pellets P3 apresentaram menor teor de umidade em comparação aos demais, resultando assim em maior durabilidade mecânica de 98,83%, já os pellets P2 que obtiveram maior teor de umidade, confirmaram esta relação, já que sua durabilidade foi à menor 95,91%.

A norma CEN/TS 15210-1 de 2005 relata que pellets de madeira possuem durabilidade mecânica elevada, cujos valores superam 80%, por tanto os pellets P1, P2 e P3, satisfazem este quesito segundo esta norma, já que seus respectivos valores são 96,73%, 95,91% e 98,83%.

5. Conclusão

A partir dos resultados conclui-se que em relação ao teor de umidade, durabilidade mecânica e poder calorífico inferior todos os pellets atingiram o parâmetro de qualidade exigido pelas normas de padrões internacionais. Assim, é possível concluir que os pellets produzidos com diferentes composições podem ser considerados como biocombustíveis renováveis, possuem grande potencial energético e atendem os parâmetros de qualidade com relação aos padrões internacionais.

Referências

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8112/86. *Carvão vegetal - Análise Imediata*. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8633/84. *Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico*. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 14929. *Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa*. Rio de Janeiro, 2003.

- ARRANZ, J. I., MIRANDA, M. T., MONTERO, I., SEPÚLVEDA, F. J., & ROJAS, C. V.** *Characterization and combustion behaviour of commercial and experimental wood pellets in South West Europe*. Fuel, v. 142, p. 199-207, 2015
- BRAND, M. A.** Energia de biomassa florestal. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.131 p.
- BRITO, JO de; BARRICHELO, L. E. G.** *Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis*. Seminário de Abastecimento Energético Industrial com Recursos Florestais, v. 2, p. 101-137, 1982.
- CAMARGO, Bruno Silva.** *Avaliação das propriedades físicas, químicas e térmicas dos pellets de madeira*. 2013.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG - DIN 51731:** Testing of solid fuels - Compressed untreated wood, Requirements and testing. Deutsches Institut für Normung (Ed.). Berlin, 1996.
- DIAS, J. M. C. S. et al.** *Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais*. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2012. 132 p.
- DUCA, D.; RIVA, G.; PEDRETTI, E. F.; TOSCANO, G.** *Wood pellet quality with respect to EN 14961-2 standard and certifications*. Fuel, v. 135, p. 9-14, 2014.
- FACHINGER, Friederike et al.** *How the user can influence particulate emissions from residential wood and pellet stoves: Emission factors for different fuels and burning conditions*. Atmospheric Environment, v. 158, p. 216-226, 2017.
- FAO – Forest Products Statistics.** Global Forest Products Facts and Figures. 2012.
- FURTADO, T. S. et al.** *Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de Pinus taeda em diferentes idades*. Revista Árvore, v. 36, n. 3, p. 577–582, 2012.
- GARCIA, Dorival Pinheiro.** *Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil*. 2010.
- GARCIA, Dorival Pinheiro; CARASCHI, José Cláudio; VENTORIM, Gustavo.** *O setor de pellets de madeira no Brasil*. Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science), v. 8, n. 1, 2017.
- GARCIA, Dorival Pinheiro.** *Técnicas multivariadas (HCA e PCA) aplicadas na avaliação de biomassas vegetais para produção de pellets*. Tese Doutorado. Universidade Estadual Paulista. 2017.
- GUO, W., LIM, C. J., Bi, X., SOKHANSANJ, S., & MELIN, S.** *Determination of effective thermal conductivity and specific heat capacity of wood pellets*. Fuel, v. 103, p. 347-355, 2013.
- HOEFNAGELS, R., JUNGINGER, M., FAAIJ, A.** *The economic potential of wood pellet production from alternative, low-value wood sources in the southeast of the U.S.* Biomass and Bioenergy. v. 71, p. 443–454, 2014
- LINDE, Klaus; WILLICH, Stefan N.** *How objective are systematic reviews? Differences between reviews on complementary medicine*. Journal of the Royal Society of Medicine, v. 96, n. 1, p. 17-22, 2003.
- NUNES, L. J. R.; MATIAS, J. C. O.; CATALAO, J. P. S.** *Wood pellets as a sustainable energy alternative in Portugal*. Renewable Energy, v. 85, p. 1011-1016, 2016.
- OBERNBERGER, I.; THEK, G.** *Physical characterization and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their composition behavior*. Biomass & Bioenergy, v.27, n.6, p.653-669, 2004.
- OSTREICHES NORMUNGS INSTITUT.** ONORM M 7135. *Compressed wood or compressed bark in natural state - Pellets and briquettes*. Requirements and test specifications, Vienna, 2000.
- PAGANI, Regina Negri; KOVALESKI, João Luiz; RESENDE, Luis Mauricio.** *Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication*. Scientometrics, v. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015.
- PENG, Jianghong et al.** *Effects of thermal treatment on energy density and hardness of torrefied wood pellets*. Fuel Processing Technology, v. 129, p. 168-173, 2015.

QIU, G. *Testing of flue gas emissions of a biomass pellet boiler and abatement of particle emissions.* Renewable Energy, v. 50, p. 94–102, 2013.

SIMIONI, Flávio José; HOEFLICH, Vitor Afonso. *Cadeia produtiva de energia de biomassa na região do Planalto Sul de Santa Catarina: uma abordagem prospectiva.* Revista Árvore, v. 34, n. 6, 2010.

STÅHL, Magnus; BERGHEL, J., FRODESON, S., GRANSTRÖM, K., & RENSTRÖM, R. *Effects on pellet properties and energy use when starch is added in the wood-fuel pelletizing process.* Energy & Fuels, v. 26, n. 3, p. 1937-1945, 2012.

STÅHL, Magnus; BERGHEL, Jonas; WILLIAMS, Helén. *Energy efficiency, greenhouse gas emissions and durability when using additives in the wood fuel pellet chain.* Fuel Processing Technology, v. 152, p. 350-355, 2016.

SWEDISH STANDARDS. SS 187180: Biofuels and Peat - Determination of mechanical durability of pellets and briquettes, pellets. Classification Swedish Standards. Stockholm, 1999.

TOSCANO, G.; RIVA, G.; PEDRETTI, E. F.; CORINALDESI, F.; MENGARELLI, C.; DUCA, D. *Investigation on wood pellet quality and relationship between ash content and the most important chemical elements.* Journal Biomass and Bioenergy, Barking, Inglaterra, v. 56, p. 317-322, 2013.