



QUALIDADE DE PELLETS DE GALHOS SECOS DE ARAUCÁRIA E PARTÍCULAS DE PINUS

Martha Andreia Brand¹, Rodolfo Cardoso Jacinto² & Alessandro Bayestorff da Cunha³

RESUMO: A análise da produção de pellets para uso energético utilizando-se misturas de matérias primas residuais é uma alternativa para a utilização sustentada de materiais que, se deixados onde são produzidos, causam prejuízos econômicos, sociais e ambientais. Esta é uma possibilidade para o uso dos galhos secos, finos e aciculados da araucária (grimpas) que provocam problemas de sanidade animal na atividade pecuarista extensiva. Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar energeticamente as grimpas, comparando-as com as propriedades do *Pinus*, e os pellets obtidos a partir de diferentes misturas destes dois tipos de biomassa. As propriedades físicas, químicas e energéticas foram determinadas nas grimpas e partículas de *Pinus* na forma *in natura*. Pellets com as proporções de 0:100%; 25:75%; 50:50%, 75:25% e 100:0% de partículas de *Pinus*:grimpas foram produzidos. As propriedades físicas e energéticas dos pellets foram enquadradas nos parâmetros da norma ISO 17225-2 para determinar a melhor aplicação energética dos compactados. A maravalha de *Pinus* e a grimpas apresentaram qualidade energética distinta. A grimpas teve maior densidade básica e a granel, teor de cinzas, teor de extrativos e lignina e menores teores de voláteis e de holocelulose. Os pellets obtidos da mistura das biomassas tiveram melhor qualidade do que os pellets homogêneos, que não atenderam plenamente nenhuma das categorias de uso da norma ISO 17225-2. Os pellets das misturas: 25% (grimpas): 75% (pinus) podem ser utilizados em queimadores domésticos; 50% de cada biomassa, e 75% (grimpas): 25% (pinus) podem ter uso no setor de serviços (comercial).

PALAVRAS-CHAVE: grimpas, ISO 17225-2, compactados.

PELLETS QUALITY OF DRY ARAUCARIA TWIGS AND PINUS PARTICLES

ABSTRACT: Pellets production, for bioenergy using, mixing residuals of raw material is an alternative for the sustained material use, that if left where they are produced, cause economic, social and environmental damages. It is turn into a possibility for the use of dry, fine and aciculate araucaria branches (named grimpas) that provoke animal health problems in extensive cattle activity. The aim of this study was to energetically characterize the dry araucaria twigs, comparing them with the properties of *Pinus* particles and with pellets obtained from these biomass mixture. Physical, chemical and energetic properties were determined in the *Pinus* and in the araucaria twigs, *in natura* particles. Pellets with of 0:100%; 25:75%; 50:50%, 75:25% and 100:0% of *Pinus* particles:dry twigs proportions were produced. The physical and energetic pellets properties were framed in the ISO 17225-2 parameters to determine the best energetic compacts application. The *Pinus* particles and the dry twigs presented different energetic quality. Dry twigs had higher bulk density, ash and extractive content, lignin, lower volatiles contents s and holocellulose. Pellets obtained from biomass mixture shown better quality than homogeneous pellets, which did not fully meet any of the ISO 17225-2 use categories. Mixed pellets: 25% (dry twigs):75% (*Pinus*) can be used as a domestic burner; 50% of each biomass and 75% (dry twigs):25% (*Pinus*) may be used in the services sector (commercial).

KEYWORDS: dry twigs, ISO 17225-2, densities biomass.

1 INTRODUÇÃO

Na Floresta Ombrófila Mista, a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. continua sendo um importante componente somente em remanescentes florestais que se encontram em regime de preservação permanente (TREVISIO CENCI et al., 2013), enquanto em áreas com elevada atividade antrópica, a ocorrência desta espécie

vem sendo altamente comprometida (DE ALBUQUERQUE et al., 2011).

Nesta formação florestal, Watzlawick et al. (2012) quantificaram a biomassa média estocada em 250,90 Mg/ha, sendo que a *Araucaria angustifolia* contribuiu com 23,14% da biomassa arbórea, e juntamente com a *Ocotea porosa* foram as duas espécies que mais contribuíram com a biomassa florestal. A araucaria produziu 8,22% dos galhos vivos e 15,62% do total de galhos mortos da floresta (WATZLAWICK et al., 2012).

A espécie apresenta potencial florestal não madeireiro, com importância social e econômica com a exploração principalmente de pinhão. Também podem ser aproveitados os resíduos como os galhos mortos que são conhecidos popularmente como grimpas ou grinfa (RIOS et al., 2015). Portanto, as grimpas da *Araucaria*, que são

¹ Universidade do Estado de Santa Catarina. Docente do Departamento de Engenharia Florestal. E-mail: martha.brand@udesc.br Autor correspondente.

² Universidade do Estado de Santa Catarina. Mestre em Ciências Florestais. E-mail: rodolfo_cj@hotmail.com.

³ Universidade do Estado de Santa Catarina. Docente do Departamento de Engenharia Florestal. E-mail: alessandro.cunha@udesc.br

os galhos secos, finos e aciculados da árvore, que caem no solo em função da desrama natural da árvore, compõe uma parcela importante da biomassa produzida pela espécie e representam um recurso energético possível de utilização na região sul do Brasil. Por sua vez, estes galhos aciculados precisam ser retirados dos campos onde existe a atividade de pecuária.

Isso porque as grimpas se constituem em um problema de sanidade animal nas propriedades rurais da região Sul do Brasil. É comum nesta região, a permanência de árvores isoladas de *Araucaria angustifolia* em áreas de campo nativo, utilizadas para a engorda de bovinos. Quando as mesmas não são coletadas, principalmente nos meses de inverno, durante a safra do pinhão, os bovinos aspiram as grimpas ao comer o pinhão, causando problemas pulmonares nos animais.

Houveram casos de morte em bovinos na região do Alto Uruguai Catarinense, que envolveram a aspiração de “grimpa” que passa a ser um corpo estranho no trato respiratório dos animais. Observou-se que nos casos relacionados à aspiração de “grimpa”, os sinais clínicos foram basicamente respiratórios (dispneia e halitose) e geralmente crônicos, debilitando grave e gradativamente os bovinos. Mesmo com a administração de antibioticoterapia de amplo espectro, a contínua presença da grimpa impede a cura do processo, culminando em óbito ou eutanásia (BAVARESCO et al. (2017).

Além disso, deve-se levar em consideração que a atividade agropecuária é a principal fonte de gases de efeito estufa no Brasil, respondendo por 74% das emissões. Quase dois terços é oriunda da conversão de floresta em pastos e agricultura e a outra parcela provém das emissões diretas da agropecuária como a fermentação entérica e manejo dos solos. Se as emissões forem divididas entre os subsetores da agricultura e da pecuária, nota-se que 86% delas são provenientes da produção animal (SEEG, 2108a).

A bovinocultura de corte é a principal fonte de emissão de GEE deste subsetor, respondendo por 69% das suas emissões totais. Entretanto, a bovinocultura também é o setor com a maior margem para a implementação de melhorias em seu sistema produtivo. Assim, a agropecuária brasileira apresenta grande potencial em reduzir suas emissões através de inúmeras opções de práticas de mitigação, principalmente aquelas relacionadas ao aumento da eficiência de uso das pastagens no Brasil (SEEG, 2018b). Neste contexto, a retirada das grimpas dos campos permitiria que o uso energético dessa biomassa residual contribuísse para minimizar a queima de combustíveis fósseis, apoiando as metas para redução das emissões de GEE no Brasil.

Nesse contexto, é fundamental a realização de estudos para verificar a viabilidade de utilização energética das grimpas, visto o comprovado potencial quantitativo deste resíduo gerado pela desrama natural da árvore e, também, como forma de minimizar os problemas associados à sanidade animal e as emissões de GEE.

Segundo informações levantadas por Garcia, Caraschi e Ventorim (2017), todas as empresas brasileiras de pellets utilizam os resíduos de *Pinus* (na forma de serragem, pó de serra ou maravalha) das indústrias madeireiras como principal matéria-prima do processo de peletização, sendo que estes resíduos conferem aos compactados produzidos com esta matéria-prima propriedades físicas, mecânicas e energéticas que atendem aos selos de qualidade internacionais mais utilizados por importadores e consumidores mundiais (JACINTO et al., 2017). Portanto, em estudos que envolvam a análise de uma nova matéria-prima, se deve levar em consideração a madeira de *Pinus* como parâmetro de comparação de qualidade com os outros materiais analisados.

Assim, o objetivo desse trabalho foi caracterizar energeticamente as grimpas como coletadas no campo, comparando-as com as propriedades do *Pinus* e os pellets obtidos a partir de diferentes misturas destes dois tipos de biomassa. Os parâmetros qualitativos foram enquadrados na norma ISO 17225-2 para *pellets* de madeira de modo a determinar a melhor aplicação energética dos compactados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados foram as grimpas da *A. angustifolia*, coletadas em sub-bosque de remanescentes de Floresta Ombrófila Mista, no município de Lages-SC, na fazenda experimental da EPAGRI (27°45'15,8"S e 50°25'20,2"W), e a maravalha de *Pinus spp.* doada por uma indústria produtora de esquadrias, localizada no município de Lages-SC (27°49'21"S e 50°22'08"W).

No sub-bosque foram coletados 200 kg de grimpas, utilizando-se uma área suficiente até se atingir a quantidade anteriormente estipulada, para permitir a produção de pellets suficientes para a realização dos ensaios propostos. Da mesma forma, a maravalha de pinus foi coletada no silo da empresa, que armazena o resíduo oriundo de diferentes dias de manufatura da indústria, na quantidade de 200 kg.

Para a caracterização energética, física e química (Tabela 1), a grimpa foi analisada como coletada em campo (*in natura*). A biomassa foi moída em moinho de martelo com abertura de tela de 10 mm, e após moagem, a serragem utilizada nas análises foi a que passou pela peneira de 40 mesh e ficou retida em peneira de 60 mesh. As partículas de *Pinus* foram analisadas sem moagem prévia para a determinação da densidade básica, densidade a granel e distribuição do tamanho das partículas (granulometria).

Tabela 1 - Procedimentos adotados para a caracterização das biomassas na forma in natura

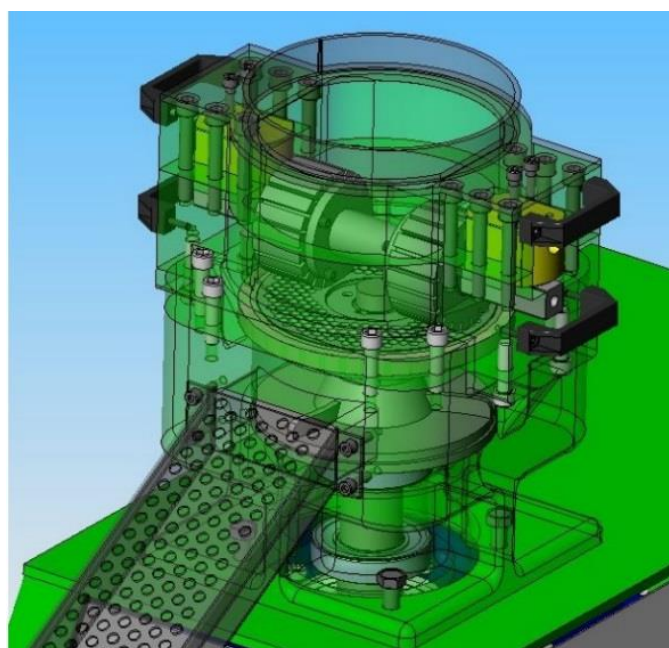
Análise	Norma	Repetições
Análise imediata	ASTM 1762 (ASTM, 2007)	3
Poderes Caloríficos (superior e líquido)	DIN 51900 (DIN, 2000)	3
Teor de extrativos totais	Tappi 264 (TAPPI, 1994)	4
Lignina	Tappi 222 (TAPPI, 2016)	4
Holocelulose (TH)	TH= 100 - (Extrativos totais + cinzas + Teor de lignina).	4
Umidade	Tappi 264 (TAPPI, 1994)	3
Densidade básica	NBR 11491 (ABNT, 2003)	3
Densidade a Granel	EN 15103 (EN, 2010a)	5
Teste de granulometria	EN 15149-1 (EN, 2010b)	3

Para a produção dos pellets, as misturas para a composição dos tratamentos foram realizadas manualmente, sem secagem prévia das biomassas (Tabela 2). A peletização foi realizada em uma peletizadora piloto de laboratório com matriz plana (Figura 1), capacidade de 400 kg/hora, diâmetro dos pellets de 6 mm. Em cada tratamento, a peletizadora foi aquecida até 80°C antes do início dos testes de peletização. Os parâmetros de peletização foram sendo ajustados até a obtenção de pellets com qualidade visualmente adequada (Tabela 3).

Após o término da peletização, os pellets foram levados até uma câmara climatizada, com umidade relativa de

65% a temperatura de 22°C para estabilização do teor de umidade e temperatura. Após esta climatização, a análise da qualidade dos pellets foi realizada por meio da determinação das propriedades físicas e energéticas dos mesmos (Tabela 4). Os valores das propriedades dos *pellets* foram comparados com os parâmetros existentes na Norma ISO 17225-2 (ISO, 2014).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade de erro, considerando a proporção de cada tipo de biomassa na composição dos pellets.

**Figura 1 - Matriz plana da peletizadora piloto laboratorial.**

Fonte: Lippel Metal Mecânica Ltda.

Tabela 2 - Composição dos pellets produzidos

Tratamento	Proporção (em massa (kg) no teor de umidade medido antes da peletização (massa úmida))	
	Maravalha de <i>Pinus</i>	Grimpa
G100	0%	100%
G75P25	75%	25%
G50P50	50%	50%
G25P75	25%	75%
P100	100%	0%

Tabela 2 - Parâmetros de peletização para fabricação de pellets com diferentes tipos de resíduos em peletizadora piloto com matriz plana

Tratamento	TM (°C)	TS (°C)	TP (°C)	Pressão (Bar)	P (Watt)	F (Hz)	VA (rpm)
G100	94	81	29	100	4532	59,60	254,75
G75P25	96	84	34	110	4532	59,60	295,56
G50P50	89	79	45	110	4707	56,54	285,75
G25P75	96	79	48	150	4983	53,40	451,88
P100	87	73	NM	110	4826	52,77	492,14

Legenda: TM= Temperatura média da matriz; TS= Temperatura abaixo da matriz (saída dos pellets); TP= Temperatura do pellet no final da esteira de resfriamento; P = potência média do motor da matriz de compactação; F = frequência (vibração/oscilação) da esteira de resfriamento; VA = velocidade da esteira de alimentação da biomassa. (Problema no sensor de temperatura).

Tabela 4 - Análise das propriedades físicas e energéticas realizadas nos pellets.

	Análise	Norma	Repetições
Análises Físicas	Dimensões dos <i>pellets</i>	EN 16127 (EN, 2012)	100g
	Densidade a Granel	EN 15103 (EN, 2010a)	5
	Densidade da unidade	EN 16127 (EN, 2012)	100g
	Durabilidade	EN 15210-1 (EN, 2010c)	4
	Teor de Finos	EN 15210-1 (EN, 2010c)	4
	Umidade	TAPPI 264 (TAPPI, 1994)	3
Análises Energéticas	Poder Calorífico Superior e Poder calorífico líquido	DIN 51900 (DIN, 2000)	3
	Análise imediata	ASTM 1762 (ASTM, 2007)	3

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando que a grimpá é agrupada em pilhas pelos pecuaristas para evitar a ingestão das mesmas pelo gado, e que estas ficam no campo, sujeitas as condições climáticas, sem cobertura, a umidade foi baixa (Tabela 5) e adequada à geração de energia em processos de combustão, mesmo na forma *in natura*, pois conforme afirma Brand (2010) o teor de umidade da biomassa para combustão direta deve ser menor que 30%. O valor baixo da umidade, obtido neste trabalho para grimpá, pode ser explicado pelo fato destes galhos serem finos e quando se desprendem das árvores já não têm mais atividade fisiológica, estando mortos e as folhas secas.

Da mesma forma que a grimpá, a maravalha de *Pinus* teve baixo teor de umidade por ser derivada de um

processo industrial onde a madeira é previamente seca em estufa para posterior processamento e conversão em portas.

Tabela 5 - Propriedades físicas, químicas e energéticas dos resíduos in natura.

Resíduos	Grimpa	Maravalha de Pinus	CV (%)
Teor de umidade (Base úmida) (%)	15,34 a	14,79 b	0,89
Densidade básica (kg/m ³)	280,34 a	221,69 b	7,84
Densidade a granel (kg/m ³)	173,30 a	86,70 b	12,95
Teor de carbono fixo (%)	21,72 a	18,91 a	11,96
Teor de materiais voláteis (%)	70,38 b	80,63 a	2,86
Teor de cinzas (%)	7,90 a	0,46 b	14,84
Poder calorífico superior (kcal/kg)	4644 a	4704 a	3,42
Poder calorífico líquido (kcal/kg)	3565 a	3643 a	3,81
Teor de extrativos em etanol:tolueno (%)	11,64 a	5,57 b	3,85
Teor de extrativos em etanol (%)	0,56 b	1,60 a	16,47
Teor de extrativos em água quente (%)	7,75 a	2,92 b	9,99
Teor de extrativos totais (%)	19,96 a	10,09 b	2,86
Teor de lignina (%)	42,16 a	26,01 b	3,56
Teor de holocelulose (%)	29,98 b	63,45 a	3,37

Legenda: TU= Teor de umidade na base umidade; DB= Densidade Básica; DG= Densidade a Granel. CF= Teor carbono fixo; TV= Teor de Voláteis; TC= Teor de cinzas; PCS= Poder Calorífico Superior; PCL=Poder Calorífico Líquido; EET = Teor de extrativos em etanol-tolueno; EE = Teor de extrativos em etanol; EAQ = Teor de extrativos em água quente; TET= Teor de Extrativos Totais; TL= Teor de Lignina; TH = Teor de holocelulose. CV= coeficiente de variação. Letras iguais na linha indicam que não houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de médias de Scott-Knott a um nível de probabilidade de 0,05.

A maravalha do *pinus* teve os menores valores tanto para densidade básica como para densidade a granel, sendo estatisticamente diferente da grimpa para as duas propriedades. Segundo Tumuluru et al. (2010), a densidade a granel da biomassa fresca varia de 150 a 200 kg/m³. Neste contexto, somente a grimpa ficou entre os valores mencionados em literatura. De Souza et al. (2012) determinou o valor médio de 180 kg/m³ para maravalha de pinus, superior ao obtido neste trabalho. A baixa densidade a granel dos materiais justifica a importância do processo de pelletização para o aumento da densidade energética destes resíduos. Isso porque, segundo Garcia et al. (2018a) há uma correlação direta entre densidade a granel e densidade energética, que na prática se traduz em possibilitar o carregamento de mais energia no mesmo espaço do caminhão ou navio cargueiro, barateando o custo final do serviço de transporte e tornando esse biocombustível mais competitivo.

Com relação à composição química imediata, o teor de carbono fixo foi similar para ambos os materiais, havendo diferença no teor de voláteis e cinzas. Peng et al. (2013) encontraram para madeira de pinus valores de teor de carbono fixo um pouco inferiores ao encontrado neste trabalho (16,8%). De Souza et al. (2012), obtiveram para maravalha de *Pinus taeda*, menor teor de carbono fixo (14,01%), maior teor de voláteis (85,09%) e menor teor de cinzas (0,30%). Em função do teor de voláteis, a maravalha de pinus tem uma quantidade

maior da massa do combustível que queima na forma gasosa.

O teor de cinzas foi mais alto para as grimpas. A maravalha de pinus não possui casca, pois a mesma já foi removida no processamento industrial da madeira. Já as grimpas são galhos com folhas, que quando vivos participam do processo fotossintético da planta, reservando maior quantidade de minerais, que compõe as cinzas após o processo de combustão. Rios et al. (2015) obtiveram teor de cinzas de 5,13% para grimpa.

Considerando o processo de pelletização, são desejados baixos teores de cinzas, próximos aos observados para o pinus, considerando que a norma ISO 17225-2 (ISO, 2014) limita o teor de cinzas a 3% para os pellets das categorias menos restritivas em relação à qualidade (uso industrial – I3).

Tanto o poder calorífico superior, quanto o poder calorífico líquido foram similares para os dois resíduos analisados e compatíveis com os valores observados para materiais lignocelulósicos (Brand, 2010). De Paula Protásio et al. (2011) obtiveram 4864 kca/kg e De Souza et al. (2012) o valor de 4926 kcl/kg para maravalha de pinus, próximo ao registrado neste trabalho.

A composição química estrutural dos dois resíduos foi diferente, sendo que a grimpa teve maior teor de extrativos e lignina e menor teor de holocelulose. Rios et

al. (2015) analisando a composição química estrutural de grimpas de araucária, obtidas na mesma região de estudo, determinaram valores 12,57%; 1,37%; 11,01%, 24,95%; 47,41% e 22,51% de extrativos em etanol tolueno; etanol; água quente; extrativos totais, lignina e holocelulose, respectivamente. Com exceção do teor de holocelulose, todos os demais valores foram superiores, porém próximos aos deste trabalho.

Como destacado por Yu et al. (2017) o teor de lignina e extrativos presente na biomassa é fundamental para a ligação interna e empacotamento das partículas durante o processo de peletização. Jacinto et al. (2017) constataram que matérias-primas com maior teor de lignina necessitaram de maior conteúdo de umidade para ocorrer a compactação dos pellets, podendo chegar a 23% de conteúdo de umidade para matérias-primas com aproximadamente 42% de lignina. Este aspecto também

foi constatado neste trabalho (Tabela 7). Isso porque, quando o teor de umidade aumenta, a temperatura da transição vítrea se desloca na direção das temperaturas inferiores, tendendo a uma temperatura-limite, na qual a umidade não exerce um efeito significativo. Para várias espécies, a transição vítrea da lignina in situ, no ponto de saturação das fibras, ocorre em zona compreendida entre 60 °C e 90 °C (IRVINE, 1984), sendo estas as temperaturas próximas as das utilizadas na peletização.

A maravalha de pinus, em teste preliminar, apresentou a melhor granulometria para o processo de peletização, sendo tomada como base para a moagem das grimpas. No entanto, nos resíduos *in natura*, os dois materiais foram similares somente na quantidade de partículas maiores que 16 mm. A quantidade de partículas até 15,99 mm foi maior para a maravalha de *Pinus* (Tabela 6).

Tabela 6 - Granulometria dos resíduos in natura e das misturas dos resíduos antes da peletização.

Tratamentos	Distribuição granulométrica (%)				
	≥31,5 mm	≥16 mm	≥8 mm	≥3,35 mm	< 3,35 mm
G	0,13 A	0,21 A	0,42 B	27,23 B	72,02 B
P	0,25 A	0,47 A	6,56 A	11,35 A	81,38 A
G100	0,13 a	0,21 a	0,42 b	27,23 c	72,02 b
G75P25	0,01 a	0,11 a	1,33 b	22,00 b	76,55 a
G50P50	0,00 a	0,01 a	0,81 b	19,37 b	79,82 a
G25P75	0,00 a	0,00 a	0,30 b	20,13 b	79,57 a
P100	0,25 a	0,47 a	6,56 a	11,35 a	81,38 a

Legenda: G = partículas de grimpa após moagem; P= partículas de *Pinus* como recebida da indústria; G100 = mistura de partículas composta por 100% de grimpa; G75P25 = 75% de grimpa e 25% de *Pinus*; G50P50 = 50% de cada tipo de resíduo; G25P75 = 25% de grimpa e 75% de *Pinus*; P100 = 100% de *Pinus*. Letras iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de médias de Scott-Knott a um nível de probabilidade de 0,05. Letra maiúscula para partículas *in natura* e letras minúsculas para diferenças entre as misturas utilizadas para a peletização.

Tabela 7 - Propriedades físicas e energéticas dos pellets produzidos com diferentes proporções de grimpa de araucária e maravalha de pinus.

Tratamento	TUap (%)	TUdp (%)	PCS (kcal/kg)	PCL (kcal/kg)	CF (%)	TV (%)	TC (%)
G100	19,78 b	11,84 a	5065 a	4108 a	21,85 a	74,91 a	3,24 a
G75P25	21,81 a	8,34 d	4900 a	4145 a	21,00 a	77,20 a	1,80 b
G50P50	18,97 b	7,64 e	4825 a	4111 a	20,50 a	78,28 a	1,22 b
G25P75	15,15 c	9,34 c	4847 a	4045 a	20,27 a	78,98 a	0,76 b
P100	13,16 d	9,94 b	4704 a	3885 a	22,28 a	78,98 a	0,87 b
CV (%)	2,49	2,81	2,48	2,75	5,97	1,81	38,08

Legenda: TUap= teor de umidade antes da peletização; TUdp= teor de umidade após a peletização; PCS= Poder Calorífico Superior; PCL=Poder Calorífico Líquido; CF= Teor carbono fixo; TV= Teor de Voláteis; TC= Teor de cinzas; CV = coeficiente de variação (%). Letras iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de médias de Scott-Knott a um nível de probabilidade de 0,05.

Após a compactação, a umidade dos pellets reduziu significativamente para valores próximos ou inferiores a 10%, que segundo a norma ISO 17225-2 (ISO, 2014) é o valor máximo admitido para todas as categorias de uso, o que descarta o uso dos pellets homogêneos de grimpá. Assim, é necessário um ajuste maior do teor de umidade antes da peletização para a obtenção de pellets com umidade final que atenda à exigência da norma.

Tanto para o poder calorífico superior, quanto para o poder calorífico líquido não houve diferença estatística entre os tratamentos, não havendo influência das misturas das biomassas nesta propriedade. Segundo a norma ISO 17225-2 (ISO, 2014) o poder calorífico líquido mínimo dos pellets deve ser de 16,5MJ/kg (3944 kcal/kg) para todas as categorias de uso. Assim, para esta propriedade energética, com exceção dos pellets homogêneos de pinus que não atingiram o valor estipulado na norma, todos os demais tratamentos podem ter uso residencial (A1) e industrial (I1) nas categorias mais restritivas em termos de qualidade (Tabela 9). O poder calorífico superior dos pellets de grimpas (100%) em comparação com as grimpas *in natura* pode ser explicado pela variabilidade da matéria-prima utilizada nos ensaios. As grimpas são compostas por madeira, folhas e casca e apesar da homogeneização das amostras, a presença de mais casca e acículas pode aumentar o poder calorífico.

Quanto à composição química imediata, a inclusão do pinus não contribuiu para a alteração dos teores de carbono fixo e voláteis, sendo que todos os tratamentos

foram semelhantes entre si estatisticamente. No entanto, para o teor de cinzas a inclusão do pinus melhorou a qualidade dos pellets, reduzindo o teor de cinzas. Garcia et al. (2018b) obtiveram teor de cinzas para pellets de pinus de 0,32%, inferior ao observado neste trabalho, enquanto Liu et al. (2016) constataram que o teor de cinzas de pellets de misturas de pinus e bambu também diminuiu com o aumento do teor de pinus nas misturas. Garcia et al (2018a) afirmaram que o teor de cinzas foi a principal característica qualitativa negativa de pellets brasileiros, quando avaliados para uso residencial, principalmente porque esta propriedade influencia diretamente na combustão, causando baixa eficiência do queimador, incrustações, corrosões e, conseqüentemente, aumenta as despesas com manutenção do equipamento e reduz o poder calorífico deste combustível.

Somente o tratamento com 100% de grimpá (G100) foi estatisticamente diferente do demais, apresentando o maior valor de teor de cinzas e não se enquadrando em nenhuma categoria de uso da norma ISO 17225 -2 (ISO, 2014). Os pellets homogêneos de pinus e o tratamento G25P75 se enquadraram no uso residencial (A2) e industrial na categoria mais restritiva (I1). Os tratamentos G50P50 e G75P25 poderiam ter uso comercial (B) e industrial (I2 e I3, respectivamente) (Tabela 9).

A proporção de mistura dos dois tipos de biomassa alterou a densidade a granel tanto das partículas antes da peletização, quanto dos pellets (Tabela 8).

Tabela 8 - Propriedades físicas e mecânicas dos pellets produzidos com diferentes proporções de pinus e grimpá de araucária.

Tratamento	DG ap kg/m ³	DG pellet (kg/m ³)	CP (mm)	φ (mm)	Dun (kg/m ³)	Du (%)	Finos (%)
G100	165 a	548 e	23,28 b	6,18 c	970 b	98,69 d	1,33 a
G75P25	145 b	618 c	26,68 a	6,25 a	520 c	99,52 a	0,48 d
G50P50	126 c	691 a	18,78 c	6,22 b	1170 a	99,04 c	0,97 b
G25P75	108 d	600 d	18,81 c	6,20 b	1210 a	99,21 b	0,80 c
P100	87 e	654 b	14,99 d	6,16 c	1150 a	98,74 d	1,27 a
CV (%)	8,26	1,91	2,19	0,31	3,17	0,10	10,30

Legenda: DG ap = densidade a granel das partículas, antes de peletizar; DG pellet = densidade a granel dos pellets; CP = comprimento do pellet; φ = diâmetro do pellet; Dun = densidade da unidade; Du = durabilidade; Finos = teor de finos; CV = coeficiente de variação (%). Letras iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de médias de Scott-Knott a um nível de probabilidade de 0,05.

Para as partículas, a menor densidade a granel do pinus influenciou para a redução da densidade a granel a medida que a quantidade de pinus aumentou nas misturas. Para os pellets, a mistura contendo quantidades iguais de pinus e grimpá proporcionou a maior densidade a granel dos pellets. A menor densidade a granel dos pellets foi registrada para as partículas com maior densidade a granel (G100). De forma geral, a inclusão do

pinus nas misturas contribuiu para o aumento da densidade a granel dos pellets. O mesmo foi observado por Liu et al. (2016) que analisou pellets produzidos com diferentes misturas de partículas de pinus e bambu. Os autores afirmaram que a densidade a granel dos pellets aumentou com o aumento do teor de pinus nas misturas. A densidade a granel é muito importante para quantificar volumes de produtos com formas irregulares, pois

fornece informações que poderão ser úteis para a logística e transportes dos mesmos, já que considera os espaços vazios entre uma partícula e fornece dados reais dos volumes para o transporte. Além disso, é utilizada para o cálculo da densidade energética (GARCIA; CARASCHI; VENTORIM, 2013).

A densidade a granel dos pellets deve ser igual ou superior a 600 kg/m³ para todas as categorias de uso previstas na ISO 17225-2 (ISO, 2014). Somente os pellets homogêneos de grimpá não atingiram o valor necessário (Tabela 9), podendo todos os outros serem utilizados nas categorias de usos doméstico, comercial e industrial.

Tabela 9 - Classificação dos pellets nas categorias de qualidade da Norma ISO 17225-2 para uso doméstico (A1 e A2), comercial (B) e industrial (I1, I2 e I3)

Tratamento	ϕ	CP	TU	TC	Du	Finos	PCL	DG	Classificação geral
G100	A1 – I1	A1 – I1	x	x	A1 – I1	x - I1	A1 – I1	x	
G75P25	A1 – I1	A1 – I1	A1 – I1	B – I3	A1 – x	A1 - I1	A1 – I1	A1 – I1	B
G50P50	A1 – I1	A1 – I1	A1 – I1	B – I2	A1 - x	A1 – I1	A1 – I1	A1 – I1	B
G25P75	A1 – I1	A1 – I1	A1 – I1	A2 – I1	A1 - x	A1 – I1	A1 – I1	A1 – I1	A2
P100	A1 – I1	A1 – I1	A1 – I1	A2 – I1	A1 – I1	x - I1	x	A1 – I1	

Legenda: ϕ = diâmetro dos pellets (mm); CP = comprimento (mm); TU = teor de umidade (%); TC = teor de cinzas (%); Du = durabilidade mecânica (%); Finos (%); PCL = poder calorífico líquido (kcal/kg); DG = Densidade a granel dos pellets (kg/m³). A1 e A2 = uso residencial; B uso comercial; I1, I2 e I3 uso industrial; x = não enquadrado um ou ambos os usos.

A maior quantidade de grimpá de araucária nas misturas produziu pellets com maior comprimento. Os diâmetros de pellets foram maiores para as misturas do que para os pellets homogêneos, tanto de pinus como de grimpá. No entanto, usuários brasileiros, na região sul do Brasil, têm relatado que pellets com comprimento maior que 25 mm podem causar problemas na alimentação dos queimadores, se aglomerando na saída dos silos de alimentação e provocando a parada do equipamento para limpeza.

Isso porque, em aplicações de pequeno porte, como aquecimento residencial, fornos de pizzarias, padarias e lavanderias, movidos à pellets, recomenda-se comprimentos menores que 20,0 mm, devido ao diâmetro da rosca sem fim, que pode ser obstruída causando a parada do equipamento (Garcia et al., 2018a). Quanto às dimensões, todos os tratamentos atenderam as especificações da norma, para todas as categorias de uso.

A densidade aparente unitária foi maior para os pellets homogêneos de pinus e para as misturas com maior proporção de pinus (P75G25 e P50G50), coincidindo com as menores densidades aparentes das partículas que deram origem aos pellets e com os tratamentos que contiveram os pellets com os menores comprimentos.

A durabilidade mecânica foi maior e o teor de finos foi menor para os pellets produzidos com as misturas em relação aos pellets homogêneos de ambos os materiais. Liu et al. (2016) também observaram que o teor de finos de pellets das misturas diminuiu em comparação com os pellets puros de bambu ou pinus. Os conteúdos de finos

também são um fator importante relacionado ao manuseio e transporte e foi diretamente relacionada à durabilidade.

Segundo a norma 17225-2, todos os pellets poderiam ter uso residencial (A1) quanto a propriedade de durabilidade mecânica, mas somente os pellets homogêneos poderiam ser utilizados industrialmente (I1). Quanto ao teor de finos, os pellets homogêneos não poderiam ter uso residencial e no setor de serviços, enquanto todos os tratamentos poderiam ter uso industrial.

As propriedades que restringiram o enquadramento dos pellets nas categorias de uso doméstico e no setor de serviços (uso comercial) foram a umidade, o teor de cinzas, o teor de finos, o poder calorífico líquido e a densidade a granel. Assim, os pellets homogêneos não poderiam ser utilizados para nenhuma aplicação prevista na norma, enquanto que os tratamentos G75P25 e G50P50 tem aplicação no setor de serviços e o G25P75 poderia ser utilizado para uso doméstico.

Na categoria de uso industrial, as propriedades que determinaram as restrições de aplicação foram a umidade, o teor de cinzas, a durabilidade mecânica, o poder calorífico líquido e a densidade a granel. Desta forma, nenhum dos tratamentos se enquadrou plenamente para uso industrial.

4 CONCLUSÃO

Os pellets obtidos da mistura das biomassas tiveram melhor qualidade em relação aos pellets homogêneos de

pinus e de grimpá. As misturas dos dois tipos de biomassa tiveram maior influência nas propriedades físicas do que nas propriedades energéticas dos pellets.

O aumento da proporção de pinus nas misturas reduziu o teor de cinzas, o comprimento e o teor de finos dos pellets e contribuiu para o aumento da densidade a granel dos pellets e da proporção de partículas menores que 3,35 mm na granulometria das partículas antes da peletização.

O elevado teor de cinzas das grimpas foi a propriedade determinante para a limitação de uso dos pellets cujas misturas continham esta biomassa, para uso doméstico.

Os pellets homogêneos de pinus ou de grimpá não atenderam plenamente nenhuma das categorias de uso da norma ISO 17225-2. Os pellets da mistura contendo 25% de grimpá e 75% de pinus podem ser utilizados em queimadores domésticos e as misturas contendo 50% de cada biomassa e a mistura com 75% de grimpá e 25% de pinus podem ser usados no setor de serviços (comercial).

5 REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM D1762 e 84**: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. Atlanta, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11491**: Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- BAVARESCO, L. H.; MENDES, R. E.; SILVA, T. M. A.; BALDI, K. R. A.; CECHIN, R. A.; GRIS, A.; MINGOTTI, T. R.; PIVA, M. M.; RHODEN, L. A.; GOMES, D. J.; SANTIANI, F. "Grimpa" de *Araucaria angustifolia* como causa de morte em bovinos. In: MICTI, 10., 2017, Camboriú. **Anais eletrônicos**. Camboriú: Instituto Federal Catarinense, 2017, 5 p. Disponível em: <http://eventos.fabricadesoftware.ifc.edu.br/media/upload/submissao/2017/09/20/2017-grimpa-de-araucaria-angustifolia-como-causa-de-mo_3e00Ewp.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2018.
- BRAND, M. A. **Energia da biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 114 p.
- DE ALBUQUERQUE, J. M.; WATZLAWICK, L. F.; DE MESQUITA, N. S. Efeitos do uso em sistema faxinal na florística e estrutura em duas áreas da Floresta Ombrófila Mista no município de Rebouças, PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 323-334, 2011.
- DE PAULA PROTÁSIO, T.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; JÚNIOR, M. G. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 113, 2011.
- DE SOUZA, M. M.; SILVA, D. A.; ROCHADELLI, R.; DOS SANTOS, R. C. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 325-334, 2012.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG - DIN. **DIN 51900**: 1e3, Testing of Solid and Liquid Fuels. Determining the Gross Calorific Value of Solid and Liquid Fuels Using the Bomb Calorimeter, and Calculation of Net Calorific Value e Part 1-3. Berlin, 2000.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION; CEN. **EN 15103**. Biocombustíveis sólidos. Determinación de la densidad a granel. Brussels, 2010a. 13 p.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION; CEN. **EN 15149-1**, Solid Biofuels e Determination of Particle Size Distribution e Part 1: Oscillating Screen Method Using Sieve Apertures of 1 Mm and above. Brussels, 2010b. 13 p.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION; CEN. **EN 15210-1**. Solid Biofuels. Determination of mechanical durability of pellets Part 1. Brussels, 2010c. 12 p.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION; CEN. **EN 16127**. Solid Biofuels. Determination of length and diameter of pellets. Brussels, 2012. 10 p.
- GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. Caracterização energética de pellets de madeira. *Revista da Madeira*, Porto Alegre, n. 135, p. 01-06, 2013. Disponível em: <http://www.remade.com.br/revistadamadeira_materia.php?num=1665&subject=Pellet>. Acesso em: 05 dez. 2018.
- GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. setor de pellets de madeira no Brasil. **Revista Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 8, n. 1, p. 21-28, 2017.
- GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G.; PRATES, G. A.; DE PAULA, T. P. Qualidade dos pellets de biomassas brasileiras para aquecimento residencial: padrões da norma ISO 17225. **Revista Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 9, n. 1, p. 45-53, 2018a.
- GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G.; VIEIRA, F. H. A.; DE PAULA, T. P. Comparative Energy Properties of Torrefied Pellets in Relation to Pine and Elephant Grass Pellets. **BioResources**, Raleigh, v. 13, n. 2, p. 2898-2906, 2018b.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 17225-2**: Solid Biofuels – Fuel Specifications and classes – Part 2:

Graded wood péletes. Genebra, 2014. 9 p.

IRVINE, G. The Glass Transitions of Lignin and Hemicellulose and Their Measurement by Differential Thermal Analysis. **Journal Tappi**, Norgross, v. 67, n. 5, p. 116-121, 1984.

JACINTO, R. C.; BRAND, M. A.; DA CUNHA, A. B.; SOUZA, D. L.; DA SILVA, M. V. Utilização de resíduos da cadeia produtiva do pinhão para a produção de pellets para geração de energia. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 3, p. 353-363, 2017.

LIU, Z.; MI, B.; JIANG, Z.; FEI, B.; CAI, Z. Improved bulk density of bamboo pellets as biomass for energy production. **Renewable Energy**, London, v. 86, p. 1-7. 2016.

NIEDZIÓŁKA, I.; SZPRYNGIEL, M.; KACHEL-JAKUBOWSKA, M.; KRASZKIEWICZ, A.; ZAWIŚLAK, K.; SOBCZAK, P.; NADULSKI, R. Assessment of the energetic and mechanical properties of pellets produced from agricultural biomass. **Renewable Energy**, London, v. 76, p. 312-317, 2015.

PENG, J. H.; BI, X. T.; SOKHANSANJ, S.; LIM, C. J. Torrefaction and densification of different species of softwood residues. **Fuel**, London, v. 111, p. 411-421, 2013.

RIOS, P. D.; VIEIRA, H. C.; STUPP, Â. M.; KNISS, D. D. C.; BORBA, M. H.; DA CUNHA, A. B. Avaliação física e mecânica de painéis reconstituídos compostos por partículas de galhos secos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze e madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 283-289, 2015.

SEEG. Emissões de GEE no Brasil e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris – 2018: Documento de Análise. Brasília, 2018a. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/08/Relatorios-SEEG-2018-Sintese-FINAL-v1.pdf>>. Acesso em: 04 jan. 2019.

SEEG. Emissões do setor de agropecuária 2018: Documento de Análise. Brasília, 2018b. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/06/relatorios-SEEG-2018-agro-final-v1.pdf>>. Acesso em: 04 jan. 2019.

TECHNICAL ASSOCIATION FOR THE WOLDWIDE PULP, PAPER AND CONVERTING INDUSTRY - TAPPI. **TAPPI 264**: Preparation of Wood for Chemical Analysis (Including Procedures of Removal of Extractive and Determination of Moisture Content). Atlanta, 1994.

TECHNICAL ASSOCIATION FOR THE WOLDWIDE PULP, PAPER AND CONVERTING INDUSTRY - TAPPI. **TAPPI T222**: Om-06: Acid-insoluble Lignin in Wood and Pulp. Atlanta, 2016.

TREVISIO CENCI, B.; DORNELES, L. T.; LAZZAROTTO SIMIONI, E.; FRIZON, S.; TRAVI, V. H.L. Composição da flora arbórea e arborescente no jardim botânico de Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 137-149, 2013.

TUMULURU, J. S.; WRIGHT, C. T.; KENNEY, K. L.; HESS, R. J. 2010. A technical review on biomass processing: densification, processing, modeling and optimization. In: ASABE Annual International Meeting, June 20-3, 2010. Pittsburgh, US. **Congress proceedings**. Pittsburgh: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2010, 5 p.

WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; GODINHO, T. O.; BALBINOT, R. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana, Paraná. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 353-362, 2012.

YU, J.; PATERSON, N.; BLAMEY, J.; MILLAN, M. Cellulose, xylan and lignin interactions during pyrolysis of lignocellulosic biomass. **Fuel**, London, v. 191, p. 140-149, 2017.