

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO ENGENHARIA QUÍMICA
THAÍZA MARA TEIXEIRA

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE PELLETS DE MADEIRA

FORMIGA-MG

2017

THAÍZA MARA TEIXEIRA

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE PELLETS DE MADEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Engenharia Química do UNIFOR-MG, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Ms. Antônio J. dos Santos Júnior

FORMIGA-MG

T266 Teixeira, Thaíza Mara.
Caracterização física e química de pellets de madeira / Thaíza Mara
Teixeira. – 2017.
60 f.

Orientador: Antônio José dos Santos Júnior.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química)-Centro
Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2017.

1. Resíduos florestais. 2. Potencial energético. 3. Análises físicas e
químicas. I. Título.

CDD 660

THAÍZA MARA TEIXEIRA

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE PELLETS DE MADEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Engenharia Química do UNIFOR-MG, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Ms. Antônio J. dos Santos Júnior

BANCA EXAMINADORA



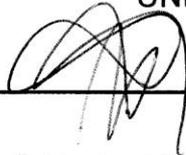
Prof. Me. Antônio José dos Santos Júnior

Orientador



Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

UNIFOR-MG



Prof. Neylor Makalister Ribeiro Vieira

UNIFOR-MG

Formiga, 31 de outubro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelos momentos de inspiração, paciência, por me dar força, saúde e inteligência para não desistir. O que seria de mim sem a fé que tenho Nele. Obrigada meu Deus por estar vivendo este momento e dando alegria para meus pais e a todos que contribuíram para essa realização.

Aos meus pais, Ilma e Selzom, pois se não fosse o apoio deles essa caminhada se tornaria mais difícil. Não mediram esforços para que eu conseguisse e tenho imensa gratidão por tudo que fizeram e fazem por mim.

Gostaria de agradecer também às minhas irmãs, que são amigas e companheiras de todas as horas. Agradeço por cada incentivo em todos esses anos. Aos meus sobrinhos, cunhados e amigos que fizeram parte dessa jornada e confiaram em minha capacidade. Ao meu namorado Rafael, obrigada pelo carinho e paciência.

Enfim agradeço ao meu professor e orientador Antônio, pela paciência, dedicação e ensinamentos que possibilitaram que eu fizesse este trabalho, agradeço de coração. E aos demais professores e colegas que foram tão importantes na minha vida acadêmica.

RESUMO

Apesar da grande utilização de combustíveis fósseis mundial e nacionalmente na matriz energética atual, a necessidade de se utilizar meios mais limpos vem crescendo gradativamente. Por este motivo, os pellets de madeira vêm ganhando espaço devido ao seu grande potencial energético e sustentável, pois podem ser produzidos por meio de resíduos florestais ou de madeiras e, também, com uso de madeiras florestais usadas exclusivamente para a produção de pellets. Este trabalho apresenta análises físicas e químicas realizadas em pellets fabricados em dois estados brasileiros, produzidos a partir de madeira *Pinus*. As análises realizadas foram: umidade, teor de cinzas, densidade a granel e dimensões. Apesar de o Brasil não possuir normas próprias para as especificações do produto, as empresas se baseiam em normas europeia e americana para regularizar seus produtos e obter a certificação. As análises obtiveram resultados positivos atendendo as especificações, sendo que as amostras, o comprimento é o que teve maior coeficiente de variação, de 26,95 %. A umidade que é uma propriedade importante da qualidade dos pellets, teve uma média de 7,43 %, considerado um bom resultado. O uso de pellets de madeira pode se tornar algo promissor no Brasil, na busca de qualidade e sustentabilidade, porém, são necessários investimentos e maior conhecimento dos possíveis consumidores.

Palavras-chave: Resíduos Florestais. Potencial energético. Análises físicas e químicas.

ABSTRACT

Despite the wide use of fossil fuels worldwide and nationally in current energy matrix, the need to use means more clean is growing gradually. For this reason, the wood pellets are gaining space due to its large energy potential and sustainable, because it can be produced by means of forest wastes or logging companies, and also with the use of forest woods used exclusively for the production of pellets. This work presents physical and chemical analyzes performed in pellets manufactured in two Brazilian states, produced from pine wood. The analyzes were: moisture, ash content, bulk density and dimensions. Although the United States does not have its own rules for the product specifications, the companies are based on European and American standards to regularize their products and obtain certification. The analyzes obtained positive results given the specifications, being that the samples, the length is what had a higher coefficient of variation of 26.95 %. The moisture that is an important property of the quality of pellets, had an average of 7.43 %, considered a good result. The use of wood pellets can become something promising in Brazil, in the pursuit of quality and sustainability, however, are necessary investments and greater knowledge of potential consumers.

Keywords: Forest residues. Energy potential. Physical and chemical analyzes.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Processos de conversão energética da biomassa	22
Figura 2: Pellets de madeira	27

LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Demanda Total de Energia de 2015.....	19
Gráfico 2: Demanda Total de Energia de 2016.....	19
Gráfico 3: Demanda Total de Energia de 2017.....	20

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1: Oferta Interna de Energia (OIE)	18
Tabela 2: Indústrias e capacidade de produção de pellets de madeira	35
Tabela 3: Faixa de especificação dos parâmetros importantes dos pellets de madeira.....	37
Tabela 4: Faixa de especificações americana para pellets de madeira	38
Tabela 5: Propriedades físicas dos pellets de madeira.....	41
Tabela 6: Propriedades químicas dos pellets de madeira.....	43

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1: Fontes de resíduos florestais	24
Quadro 2: Consumo internacional de pellets	33
Quadro 3: Tipos de madeiras permitidas na produção de pellets de madeira.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPEL – Associação Brasileira de Indústrias de Pellets

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al – Alumínio

Ca – Cálcio

Cl – Cloro

CO₂ – Dióxido de carbono

CO – Monóxido de Carbono

DTE – Demanda Total de Energia

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

Fe – Ferro

H₂ – Hidrogênio

K – Potássio

Mg – Magnésio

MME – Ministério de Minas e Energia

Mn – Manganês

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

PCI – Poder Calorífico Inferior

PCS – Poder Calorífico Superior

PFI – Pellet Fuel Institute

TEP – Toneladas Equivalentes de Petróleo

Ti – Titânio

UNIFOR – MG – Centro Universitário de Formiga Minas Gerais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Geral	17
2.2	Específicos	17
3	REFERÊNCIAL TEÓRICO	18
3.1	Matriz energética brasileira	18
3.2	Utilização e importância da biomassa	20
3.3	Biomassa florestal	23
3.4	Pellets de madeira	26
3.4.1	Definição	26
3.4.2	História dos pellets	28
3.4.3	Processo produtivo	29
3.4.3.1	Seleção e obtenção da matéria prima	29
3.4.3.2	Moagem	29
3.4.3.3	Secagem	29
3.4.3.4	Peletização ou extrusão	29
3.4.3.5	Resfriamento	30
3.4.3.6	Empacotamento	30
3.4.4	Principais propriedades	30
3.4.4.1	Umidade	30
3.4.4.2	Densidade	30
3.4.4.3	Dimensões	31
3.4.4.4	Teor de cinzas	31
3.4.4.5	Durabilidade mecânica	31
3.4.4.6	Poder calorífico	31
3.4.4.7	Teor de materiais voláteis	31
3.4.4.8	Elementos principais: Al, Ca, Fe, Mg, K, Na, Si e Ti	31
3.5	Visão de mercado	32
3.5.1	Mercado Internacional	32
3.5.2	Mercado Nacional	33
3.6	Normatização e padronização da qualidade dos pellets de madeira	35

3.6.1	Norma Europeia	35
3.6.2	Norma Americana	37
4	MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1	Determinação de umidade	39
4.2	Determinação do teor de cinzas	39
4.3	Determinação da dimensão	40
4.4	Determinação de densidade a granel	40
4.5	Testes estatísticos	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1	Análise física dos pellets de madeira	41
5.2	Análise química dos pellets de madeira	42
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
7	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	46
	REFERÊNCIAS	47
	ANEXO A – Teste de normalidade Shapiro Wilk para densidade a granel	52
	ANEXO B – Teste de Tukey para densidade a granel.....	53
	ANEXO C – Teste de normalidade Shapiro Wilk para comprimento	54
	ANEXO D – Teste de Tukey para comprimento	55
	ANEXO E – Teste de normalidade Shapiro Wilk para diâmetro ...	56
	ANEXO F – Teste de Tukey para diâmetro	57
	ANEXO G – Teste de normalidade Shapiro Wilk para umidade ...	58
	ANEXO H – Teste de Tukey para umidade	59
	ANEXO I – Teste de normalidade Shapiro Wilk para teor de cinzas	60
	ANEXO J – Teste de Tukey para teor de cinzas	61

1. INTRODUÇÃO

A matriz energética nacional e internacional está baseada principalmente na utilização de combustíveis fósseis, como exemplo o carvão mineral e o petróleo. Porém seja por motivos ambientais ou econômicos, as indústrias estão sentindo necessidade de se adaptarem buscando por meio de avançadas pesquisas, combustíveis renováveis e sustentáveis que possam ser utilizados como substitutos.

Pela procura e amplo uso de fontes de energia renováveis, a matriz energética brasileira é avaliada como limpa se comparada com o restante do mundo. Neste sentido, pode se dizer que a biomassa possui notabilidade, mas que poderia possuir maior relevância no balanço energético nacional. (BRAND et al., 2014).

Segundo Carashi e Garcia (2011) pellets de madeira são pequenos grânulos comprimidos cilíndricamente, umidade abaixo de 10%, possuindo desta forma uma alta eficiência na combustão. Pode ser considerada uma biomassa renovável e sustentável pois não possui elementos considerados tóxicos em sua composição. Sua produção geralmente pode ser feita a partir de madeira limpa, limpeza de florestas ou desperdícios de madeireiras, contribuindo dessa forma para a diminuição de resíduos gerados neste tipo de indústria.

Os pellets possuem carbono neutro, já que as plantas após retirarem da atmosfera o dióxido de carbono, permanecem com este elemento conservado sob a forma de compostos orgânicos enquanto se desenvolvem por meio da fotossíntese. O dióxido de carbono juntamente com a luz, água e sais minerais são as matérias primas para que esse processo aconteça. Após a combustão do pellet seja em residências ou em processos industriais, o dióxido de carbono retido é devolvido à atmosfera, dando continuidade ao ciclo do carbono por meio da reabsorção do mesmo (OLIVEIRA, 2016).

O Brasil possui uma enorme área disponível para cultivo, proporcionando o plantio de várias culturas, possui condições climáticas favoráveis, rica biodiversidade e avanço tecnológico. O país é um dos maiores produtores agrícolas, portanto um fornecedor em potencial de resíduos como matéria-prima (VIEIRA, 2012).

Este estudo se justifica por ser um tema atual, e que não possui interesse apenas individual, pois a questão energética sustentável é de interesse de todos. Por que a sociedade deve ser tão dependente de combustíveis com fontes esgotáveis e poluentes? De acordo com Vieira (2012), a busca por novas fontes que sejam

renováveis, aliada à solução de problemas relacionados a desperdícios florestais possui extrema importância na diminuição dessa dependência.

Em virtude destes cenários, a proposta deste estudo é produzir conhecimento sobre os benefícios do uso deste combustível para matriz energética, realizar análises para verificar seus principais parâmetros físicos e químicos.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Este estudo tem como objetivo descrever as características e propriedades do pellet de madeira.

2.2 Específicos

- Realizar revisão bibliográfica sobre as características e propriedades do pellet de madeira;
- Realizar análises químicas e físicas em duas amostras de pellets de madeira, produzidas a partir da madeira de *Pinus*;
- Comparar os parâmetros obtidos dos pellets de madeira estudados com os parâmetros descritos na literatura.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Matriz energética brasileira

Segundo Vichi e Mansour (2009, p.758) é possível definir a matriz energética referindo-se a toda produção e consumo de energia em um país. Pode-se dizer que é a oferta interna de energia (OIE) ou demanda total de energia (DTE) determinada quanto às diferentes fontes e setores de consumo. No Brasil é apresentado anualmente o Balanço Energético Nacional (BEN) realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e divulgado pelo Ministério de Minas e Energia (MME).

Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2016) analisando-se o ano de 2015 a Oferta Interna de Energia (OIE) ficou em 299,2 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), apresentando uma redução de 2,1 % se comparado a 2014, como mostrado na TAB. 1. Contudo as fontes renováveis que correspondem à energia eólica, etanol, biodiesel, biomassa entre outros, passaram de 39,4 % em 2014, para uma demanda total de 41,2 % em 2015.

Tabela 1: Oferta Interna de Energia (OIE).

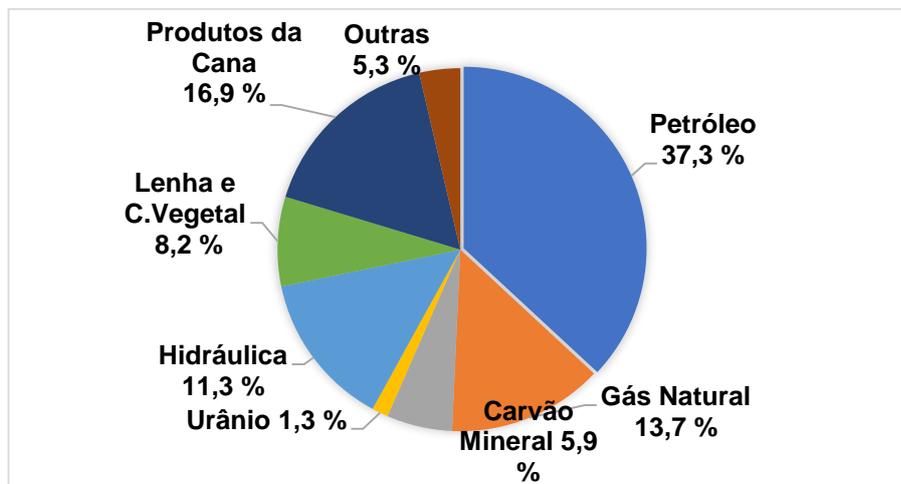
ESPECIFICAÇÃO	mil tep		15 / 14 %	Estrutura %	
	2014	2015		2014	2015
NÃO-RENOVÁVEL	185.070	175.957	-4,9	60,6	58,8
PETRÓLEO E DERIVADOS	120.327	111.626	-7,2	39,4	37,3
GÁS NATURAL	41.373	40.971	-1	13,5	13,7
CARVÃO MINERAL E DERIVADOS	17.521	17.675	0,9	5,7	5,9
URÂNIO (U3O8) E DERIVADOS	4.036	3.855	-4,5	1,3	1,3
OUTRAS NÃO-RENOVÁVEIS (*)	1.814	1.830	0,9	0,6	0,6
RENOVÁVEL	120.446	123.255	2,3	39,4	41,2
HIDRÁULICA E ELETRICIDADE	35.019	33.897	-3,2	11,5	11,3
LENHA E CARVÃO VEGETAL	24.936	24.519	-1,7	8,2	8,2
DERIVADOS DA CANA-DE-AÇUCAR	48.128	50.648	5,2	15,8	16,9
OUTRAS RENOVÁVEIS	12.363	14.191	14,8	4,0	4,7
TOTAL	305.516	299.211	-2,9	100,00	100,00
	181.034	172.101	-4,9	59,3	57,5

Fonte: Ministério de Minas e Energia

Nota: Dados extraídos da Resenha Energética Brasileira (2015) realizada durante o mês de Maio/2016. (*) Gás industrial de alto forno, aciaria, coqueria, enxofre e de refinaria.

De forma semelhante, o ano de 2016 apesar de apresentar um recuo de 0,2 % de toneladas equivalentes de petróleo da OIE em relação ao ano de 2015, as energias renováveis tiveram uma participação expressiva na Matriz Energética passando de 41,2 % em 2015 (GRAF.1) para 43,6 % em 2016 (GRAF.2). Tais fatos podem ser constatados na OIE em uma maior proporção pelo bom rendimento das fontes eólica, hidráulica e pela biomassa. (BRASIL, 2016).

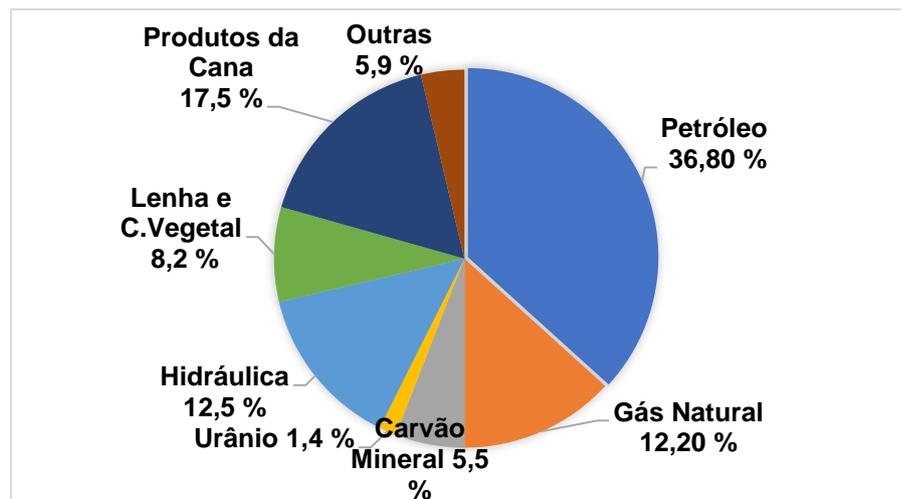
Gráfico 1 – Demanda Total de Energia de 2015



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2016).

Nota: Dados retirados do Boletim Mensal de Energia realizado no mês de Dezembro/2016.

Gráfico 2 – Demanda Total de Energia de 2016



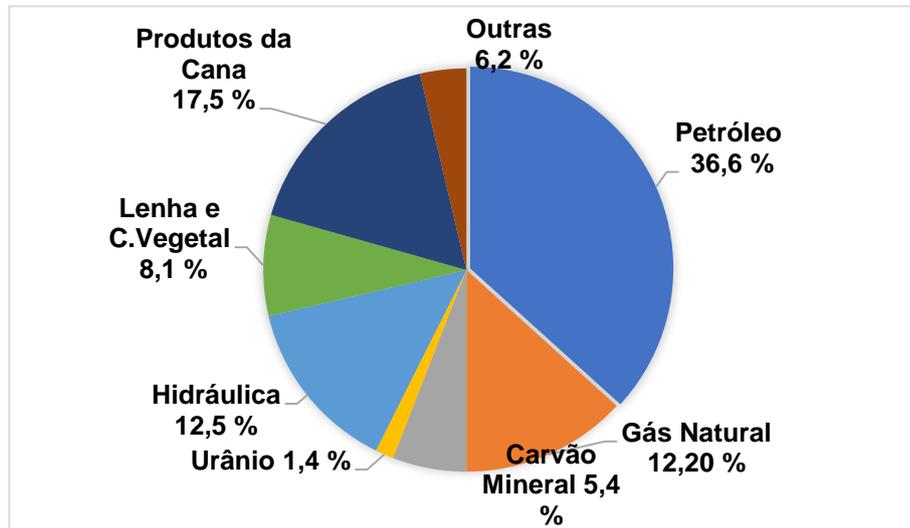
Fonte: Ministério de Minas e Energia (2016).

Nota: Dados retirados do Boletim Mensal de Energia realizado no mês de Dezembro/2016.

Em 2017 é esperado que fontes renováveis continuem estáveis, pois o ano começou de maneira positiva para este setor, apesar de alguns indicadores

retrocederem. O GRAF.3 mostra o boletim mensal do mês de janeiro de 2017. O boletim mensal visa o acompanhamento de um conjunto de variáveis energéticas ou não que permitem avaliar a demanda total de energia do Brasil. (BRASIL, 2017).

Gráfico 3 - Demanda Total de Energia de Janeiro 2017



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2017)

Nota: Dados retirados do Boletim Mensal de Energia realizado no mês de Janeiro/2017

3.2 Utilização e importância da biomassa

Os combustíveis fósseis como o carvão, petróleo e gás, dominaram a matriz energética do século XX e início do século XXI, representando cerca de 80% de toda produção de energia no mundo (GOLDEMBERG, 2009). Horst (2013) evidencia que, com a necessidade da diminuição da emissão de dióxido de carbono na atmosfera, por questões econômicas, pelos riscos ligados a extração do petróleo, a biomassa vem ganhando visibilidade mundialmente. Estudos e pesquisas voltados para aproveitamento energético e indústrias químicas estão sendo feitos para que se possa amenizar os efeitos que surgiram com a utilização de combustíveis fósseis.

Dessa forma, a biomassa vem ganhando destaque. Porém, nem toda produção primária do planeta é acrescentada na biomassa vegetal, uma vez que a energia acumulada é utilizada no ecossistema como manutenção e renovação através do ciclo do carbono. Esse ciclo se dá quando a combustão da biomassa ou derivados produz a liberação de CO₂ na atmosfera (BIOMASSA E BIOENERGIA, 2016).

De acordo com Cortez, Lora e Gómez (2008, p.17-19), a utilização de resíduos é a principal fonte para a geração de energia a partir da biomassa. Com uma

exploração apropriada, esses resíduos gerados no mundo todo possuem um potencial elevado para a obtenção de energia. É possível obter a biomassa a partir de:

Vegetais não lenhosos: sacarídeos, celulósicos, amiláceos e aquáticos;

Vegetais lenhosos: madeiras;

Resíduos orgânicos: agrícolas, urbanos e industriais;

Biofluidos; óleos vegetais.

Os mesmos autores ainda citam que “As principais biomassas no Brasil são resíduos vegetais, resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais, resíduos animais e resíduos florestais.”

Resíduos vegetais: a produção desse resíduo se dá por meio da colheita dos produtos agrícolas. O Brasil é considerado um grande produtor agrícola, portanto os resíduos gerados por essa produção vêm aumentando significativamente contribuindo para o aproveitamento energético [...]. A cana de açúcar, arroz, mandioca, milho e soja são exemplos de culturas que possuem seus resíduos aproveitados energeticamente (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008, p.17-19).

Resíduos sólidos urbanos: resto das atividades humanas, ou de acordo com a fonte onde é gerado seja ela domiciliar, comercial, industrial, [...], podendo ser classificados ainda como facilmente, moderadamente, dificilmente e não degradáveis. (FARIA, 2002 apud HENRIQUES, 2004, p.6).¹

Resíduos Industriais: todos aqueles oriundos das atividades industriais podendo citar indústrias papeleras, metalúrgicas, alimentícias, químicas e petroquímicas (GIANNINI, 2010).

Resíduos Animais: composto de dejetos de animais, que pode variar com o tipo de cultura. A viabilidade e o custo da coleta são beneficiados quando essas criações estão em confinamento. Gado bovino, suíno, caprino e ovino possuem a maior relevância no aproveitamento energético (CORTEZ, LORA, GÓMEZ, 2008, p.23).

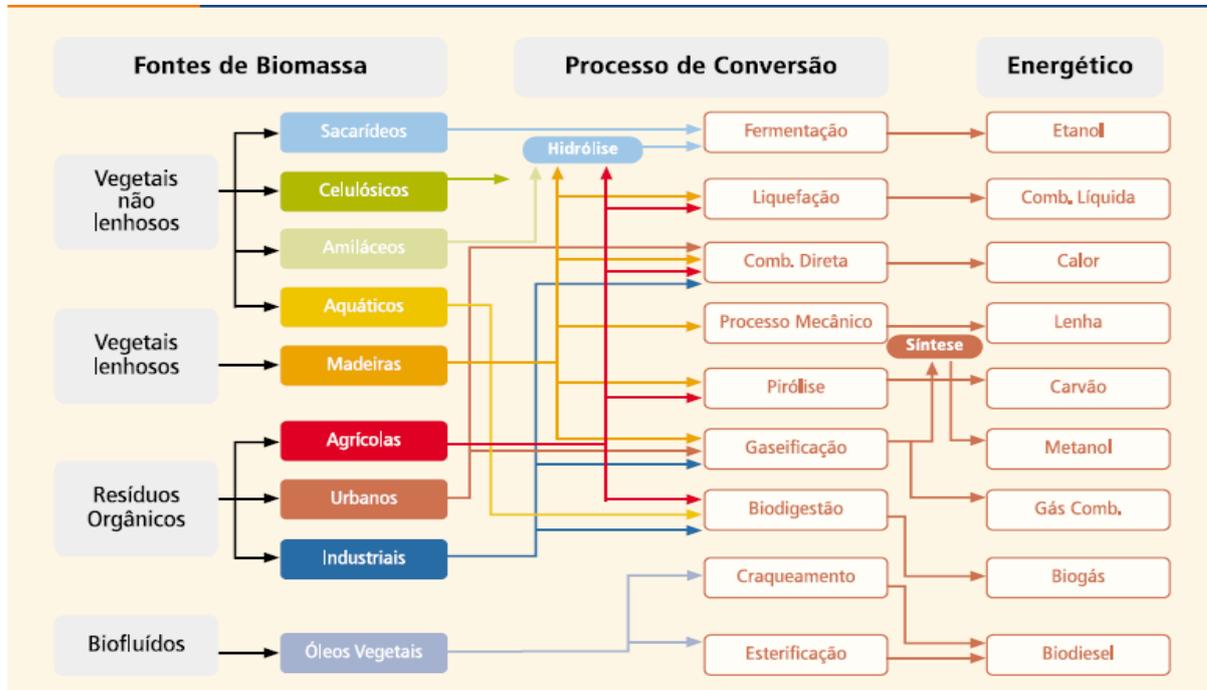
Resíduos Florestais: pode-se caracterizar como todo que é deixado para trás no campo após a coleta da madeira, podendo ser folhas, galhos, cascas e ponteiros, sendo esse último os caules com diâmetro menor que o exigido (SANTOS, 2012).

Segundo o Portal Energia (2016), referindo-se à biomassa para geração de energia, os combustíveis fósseis, a exemplo do carvão mineral, o petróleo e o gás natural, não são inseridos, pois resultam de transformações que demoram anos para

¹ FARIA, F.S. *Índice de qualidade de aterros de resíduos urbanos*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2002.

serem efetuadas. A FIG. 1 mostra os processos de conversão dos diferentes tipos de biomassa.

Figura 1 - Processos de conversão energética da biomassa



Fonte: Balanço Energético Nacional - BEN. Brasília: MME, 1982.

Os principais processos de conversão da biomassa em energia são descritos da seguinte forma:

- Pirólise: sem a presença de oxigênio, a biomassa é submetida a altas temperaturas, visando que sua decomposição ocorra mais rapidamente. Com isso o que irá permanecer após o processo será uma combinação de gases, líquidos (óleos vegetais) e sólidos (carvão vegetal) (PORTAL ENERGIAL, 2002).
- Gaseificação: a biomassa também é submetida a uma temperatura elevada e com baixo nível de oxigênio ou sua ausência total, obtendo como produto final um gás inflamável que poderá ser filtrado para que alguns componentes químicos residuais possam ser removidos. A diferença deste processo com o anterior é o fato de exigir uma menor temperatura, conseqüentemente o produto final resultará apenas em gás (PORTAL ENERGIA, 2002). Segundo Andrade (2007) esse gás é composto de monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano e nitrogênio.
- Combustão: este processo é um dos mais comuns para transformar biomassa em energia. Ocorre a elevadas temperaturas e com oxigênio abundante, gerando vapor a

alta pressão que poderá ser usado para mover turbinas ou em caldeiras. Possui uma eficiência energética entre 20 a 25% (PORTAL ENERGIA).

- **Co-combustão:** este processo traz a proposta de substituição de parte do carvão mineral normalmente utilizado em termoelétricas por biomassa, assim diminuindo a emissão de poluente em níveis significativos. É considerada uma prática atrativa economicamente, possuindo um desempenho na faixa de 30 a 37% (PORTAL ENERGIA,2002).
- **Liquefação:** é a transformação da biomassa em produtos predominantemente líquidos. Pode ser indireta quando produz gás de síntese, $CO+H_2$, e direta quando acontece em uma atmosfera redutora de oxigênio ou mistura de hidrogênio e monóxido de carbono, sendo considerada uma forma de pirólise (BIOMASSA BR-ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2011).

3.3 Biomassa florestal

Goldemberg² (2009 apud Macedo, 2005, p. 585) esclarece que:

Com o crescente aumento dos preços de óleo e gás natural, e com os novos incentivos gerados pela emergência do mercado de carbono, o gás de aterros sanitários, bagaço da cana-de-açúcar, biodiesel, madeira de reflorestamento, e esquemas resíduo-energia estão também se tornando opções atrativas. Baseado nas atuais tendências no desenvolvimento tecnológico, espera-se que os custos de recuperação da energia de biomassa se reduzam em até dois terços em 20 anos.

Cada vez mais a sustentabilidade e o fornecimento de energia devido a suas importâncias para o desenvolvimento de um país vêm ganhando atenção, já que fontes energéticas sustentáveis se encontram escassas com o aumento do consumo, crescimento populacional e baixo investimento em fontes renováveis. Pesquisas para promover desenvolvimento tecnológico com a finalidade de aplicação das descobertas e diminuição dos custos de geração dessas tecnologias, surgiram graças a imposição mundial sobre a necessidade de proporcionar o desenvolvimento se baseando na sustentabilidade (DEVES; FRANCIO, 2007).

² MACEDO I.C. **Biomass as a Source of Energy**. Unpublished paper commissioned for the InterAcademy Council study report, **Lighting the Way: Toward a Sustainable Energy Future** 2005, IAC, Amsterdam.

Pode-se considerar resíduos florestais aqueles que não são aproveitados e descartados como folhas, galhos, cascas, pontas e tocos da madeira. É comum ficarem cascas desprendidas após o processamento da madeira em florestas destinadas a produção de carvão vegetal, mesmo essas cascas sendo matéria prima. Considerado um assunto contemporâneo, geração de energia renovável através da biomassa possui um grande destaque devido a apreensão da escassez de fontes de combustíveis fósseis e as requisições da sociedade por medidas mais sustentáveis. (LIPPEL, 2017). O QUADRO 1 apresenta as principais fontes de resíduos florestais.

Quadro 1 – Fontes de resíduos florestais

Produto	Resíduos
Cana-de-açúcar	Palhada-Palha e Ponteira (campo), Bagaço (indústria)
Milho	Palhada-caule, folha (campo), Sabugo (indústria)
Arroz	Hastes e folhas (campo), Cascas (indústria)
Trigo	Caule e folhas (campo)
Café	Palhada-folhas e galhos da poda (campo) Casca do café despoldado (campo), Casca de café (unidade de beneficiamento)
Algodão	Palhada- caule, folhas (campo)
Coco(seco e verde)	Seco: cacho/engajo, casca (mesorcarpo)(campo), casca(endocarpo)(indústria). Verde: cascas (mesocarpo+endocarpo) (resíduo urbano)
Feijão	Palhada e vagem (campo)
Madeira	Cascas, tocos, cavacos (campo) Serragem(indústria)

Quadro 1- Continuação

Castanha-do-pará	Cascas e ouriços (campo)
Babaçu	Cascas (indústria)
Carnaúba	Bagana (campo)
Carvão vegetal	Briquete a partir de resíduos de carvão
Amendoim	Cascas (indústria)
Cevada	Bagaço (indústria)
Castanha-do-pará (Casca e ouriço)	Casca (indústria) Ouriço(campo)
Babaçu	Resíduos da casca (campo)
Carnaúba	Resíduos da folha (indústria)
Macaúba	Cascas (indústria)
Gramíneas forrageiras	Biomassa integral (campo)

Fonte: Dias et al.,2012, p. 22-23 adaptado pela autora.

A utilização da biomassa florestal como insumo energético está se tornando atrativo tanto para países em desenvolvimento quanto em países já desenvolvidos, por ser renovável, pela viabilidade de diminuição da dependência em relação a combustíveis fósseis e redução de poluentes atmosféricos (SANTIAGO, 2013). Além disso, a utilização de resíduos florestais por parte das indústrias representa um elemento significativo na conexão entre colheita e silvicultura. Após os processos de colheita, a retirada de resíduos que permaneceram contribui com o preparo do solo para o próximo plantio, dessa forma reduzindo também os custos da produção (BIOMASSAS BR, 2012).

Segundo a Associação Gaúcha de Empresas Florestais (2016),

Indústrias de móveis, serrarias e beneficiamento de madeira geram milhares de toneladas de resíduos diariamente em todo o país. A biomassa, de origem florestal, é uma forma de energia limpa, renovável, equilibrada com o meio ambiente rural e urbano, geradora de empregos e criadora de tecnologia própria. Além disso, permite a sua utilização como fonte alternativa de energia, seja pela queima de cavacos, ou com produtos de valor agregado como os briquetes e pellets.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações Florestais (2016), o setor agroflorestal vem contribuindo no âmbito energético do país. Dessa maneira, os pellets de madeira provenientes dos resíduos florestais estão ganhando evidência e contribuindo com o mercado. Entre os resíduos gerados a partir de biomassa florestal e que tem apresentado potencial energético estão os pellets de madeira.

3.4 Pellets de madeira

3.4.1 Definição

Segundo Garcia, Carashi e Ventorim (2012), pellets de madeira são pequenos grânulos cilíndricamente compactados e densos. Os autores ainda completam: “Sua geometria regular e cilíndrica permite tanto a alimentação automática num sistema industrial quanto à alimentação manual, nos aquecedores residenciais, porque é um produto natural e, em sua maioria, não tem elementos tóxicos na sua composição.” A FIG.2 mostra como são os pellets de madeira.

Figura 2 - Pellets de madeira



Fonte: UDINE TODAY, 2013.

Pellets de madeira são produzidos a partir da biomassa florestal e consistem em resíduos gerados após a coleta ou processamento da madeira. Possuem uma combustão com baixo índice de fumaça e menor liberação de dióxido e monóxido de carbono se comparado com combustíveis fósseis. Por isso são considerados uma fonte de energia limpa, renovável e eficiente (OLIVEIRA, 2015).

Sander (2011), coloca que as principais vantagens dos pellets de madeira são:

- É considerado o combustível sólido mais limpo devido a mínima emissão de compostos químicos, como os óxidos de nitrogênio (NO_x);
- Devido à baixa umidade, a combustão dos pellets é mais eficaz e produz poucas cinzas;
- Ocupam menos espaço de armazenamento e transporte;
- Por ser um combustível renovável, ele auxilia na diminuição da dependência de combustíveis fósseis;
- Possui uma variedade grande de matérias-primas, podendo ser florestais, industriais e agrícolas;
- Possuem alta densidade e baixo risco de combustão durante o transporte.

3.4.2 História dos pellets

Garcia (2008) relata que na cidade de Mora, na Suécia, surgiu em 1982 a primeira indústria de pellets. Porém o custo da produção ultrapassou o que havia sido calculado no início, resultando em problemas financeiros pela falta de experiência na produção e no tipo de equipamento utilizado. A baixa qualidade dos pellets produzidos, com geração de 17 % de cinzas e equipamentos de combustão ineficientes resultaram no fechamento em 1986 da primeira indústria de pellets. Mais tarde, em 1987, na cidade de Kil, na Suécia, uma nova indústria foi criada produzindo 3 mil toneladas por ano, sendo considerada a mais antiga indústria do país neste segmento, funcionando até hoje.

O governo da Suécia em 1990, com o intuito de diminuir o uso de derivados de petróleo e a dependência energética que possuía dos países exportadores de petróleo, criou uma alta taxa em cima dos combustíveis fósseis, o que diminuiria consequentemente os gases que provocam o efeito estufa. O aquecimento residencial com pellets tornou-se mais barato e acessível que o óleo e o gás após os subsídios oferecidos pelo governo. Após isso, novos produtores tiveram oportunidades já que a demanda de pellets cresceu com a venda de fogões e sistemas de aquecimento. Portanto a produção passou de 180 mil toneladas por ano em 1995 para 1 milhão de toneladas em 2000, fazendo com que o mercado de pellets crescesse rapidamente na Suécia e em toda a Europa. (BIOENERGY INTERNACIONAL JOURNAL, 2006 apud GARCIA, 2008, p.5)³.

Os pellets só passaram a chamar atenção no Brasil cerca de 20 anos mais tarde com a necessidade de acrescentar um maior valor aos resíduos de madeiras. Já a ABIPEL (Associação Brasileira das Indústrias de Pellets) surgiu em 2006 para a obtenção de dados plausíveis da indústria nacional e desenvolvimento de indústria interna para a utilização dos mesmos (GARCIA, 2015). O autor ainda completa dizendo que “convencer os empresários de que os pellets podem ser uma opção renovável e sustentável de energia para o seu negócio não é tarefa fácil, sobretudo se não houver vantagens econômicas que justifiquem a mudança do seu suprimento de energia”. Porém os progressos tecnológicos, e adaptações feitas por empresas

³ BIOENERGY INTERNACIONAL JOURNAL. **The Pellets Map 2007**. n.23, v.3. Stockholm, 2006.28p.

para que os pellets possam ser utilizados em qualquer sistema, trouxeram maior conhecimento sobre este tipo de biomassa para os empresários.

3.4.3 Processo produtivo

Segundo Energías Renovables (2014), Garcia (2010) e Dias et al. (2012), as etapas importantes do processo de produção de pellets de madeira são:

3.4.3.1 Seleção e obtenção de matéria-prima

Os pellets de madeira são fabricados utilizando matérias-primas de origem florestal. Usualmente são utilizados resíduos ou subprodutos de madeireiras, podendo ser árvores em partículas quando se trata de fabricação em escalas maiores e demandas maiores.

3.4.3.2 Moagem

É necessário que a matéria-prima esteja uniforme em tamanhos menores que 3,0 mm. É importante essa padronização para que a compactação seja de qualidade, pois quanto menor for, melhor densidade e menor porosidade terá o produto final. Sendo assim, ela será moída, podendo variar o moinho dependendo do tipo de matéria-prima. Se for uma madeira que é volumosa, a utilização do triturador antes é indispensável, produtos menos densos passam diretamente para a moagem. As partículas e também a lignina serão quebradas, permitindo um produto mais resistente e com maior área de contato.

3.4.3.3 Secagem

A matéria-prima precisa de uma baixa umidade, menos que 10%, para que o produto final seja de qualidade e com um alto poder calorífico. Existem diversos recursos para que a secagem ocorra, desde a secagem ao sol, que é considerada mais econômica, até secadores rotativos, que são mais refinados e asseguram uma secagem rápida e controlada. O que poderá definir qual método usar é a condição econômica da empresa.

3.4.3.4 Peletização ou extrusão

É a parte do processo onde os pellets tomam sua forma característica, por meio de altas temperaturas e pressões. A matéria-prima será fundida ou prensada se transformando em uma massa sólida. Dependendo do tipo de matéria-prima utilizada esse processo de fundição será melhor ou pior, e se solidificará em forma de cilindro, após isso uma lâmina irá cortar os pellets no tamanho desejado.

3.4.3.5 Resfriamento

Quando saem da etapa de extrusão, os pellets estão em uma temperatura de mais ou menos 95°C e com uma grande maciez. É necessário que se disponha de um resfriamento e estabilização da lignina, antes de prosseguir para próxima fase. É considerada uma fase de grande importância na fabricação dos pellets pois durabilidade e resistência estão relacionadas a ela. A umidade não poderá ultrapassar 10%.

3.4.3.6 Empacotamento

Já resfriados, os pellets poderão ser embalados em diferentes sacos ou até mesmo vendidos à granel, podendo ser armazenados por tempo indefinido devido ao baixo teor de umidade. A FIG.3 mostra o fluxograma do processo de produção de pellets de madeira.

3.4.4 Principais propriedades

Para se garantir a qualidade dos pellets de madeira produzidos, alguns parâmetros devem ser observados. Sendo:

3.4.4.1 Umidade

Considerado um dos parâmetros mais importantes pelo fato de influenciar diretamente na eficiência dos pellets. De acordo com a Pelheat (2015), escassez ou excesso de umidade pode interferir tanto na moagem, quanto no produto final, pois à medida que o moinho fica quente devido ao atrito gerado, a água presente na matéria-prima se transforma em vapor e isso como consequência aumenta a pressão dentro dos furos da matriz que forma os pellets na etapa de peletização. Se houver pressão maior que o necessário o motor do moinho trabalhará mais, aumentando os custos energéticos da produção, e com uma pressão muito alta poderia gerar um bloqueio na matriz de formação do pellet. Por este motivo a matéria-prima deverá ter menos de 15% de umidade. Tudo isso impacta no produto final, pois para ter uma boa combustão com o mínimo de cinzas possível é necessário que os pellets estejam com uma umidade inferior a 10%.

3.4.4.2 Densidade

Muito utilizada pela logística e transporte, a densidade a granel auxilia na estimativa do volume de produtos com formas irregulares. A densidade aumenta em proporção à diminuição do tamanho do produto. Portanto quanto maior a densidade a

granel, maior será a quantidade de produto que poderá ser armazenado ou transportado, conseqüentemente minimizando os custos. Por este motivo os pellets de madeira possuem outra vantagem com relação a outros combustíveis: como são compactados, ocupam menos espaço no armazenamento e quando são transportados. (GARCIA; CARASHI; VENTORIM, 2013).

3.4.4.3 Dimensões

Segundo o Manual Enplus do Sistema de Certificação de Qualidade para pellets de Madeira (2015), o diâmetro varia de 6 a 8 mm, e o comprimento pode atingir até 40 mm, sendo que 1 % dos pellets podem atingir o comprimento de 45mm, não podendo ultrapassar essa faixa.

3.4.4.4 Teor de cinzas

De acordo com Mendes (2011), este parâmetro poderá variar com o tipo de biomassa utilizada, pois cascas e folhas produzem teores de cinzas bem elevados. Alguns compostos que constituem as cinzas são o Silício (Si), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), ferro (Fe), cloro (Cl), alumínio (Al) e manganês (Mn).

3.4.4.5 Durabilidade mecânica

Segundo Garcia (2008) a formação de materiais finos possui a influência desse parâmetro, visto que, pellets com pouca durabilidade mecânica podem gerar finos através do carregamento, enchimento de silo e até no armazenamento. Geralmente em transportes petroleiros que utilizam sistemas pneumáticos, podem ocorrer esmagamento dos pellets gerando altas concentrações de finos, com isso os riscos de explosão e diminuição da qualidade dos pellets é alta.

3.4.4.6 Poder calorífico

De acordo com Dias et al. (2012) é possível definir poder calorífico como a quantidade possível de energia liberada pela combustão, podendo ser expresso em Joule por grama ou quilojoule por quilograma.

3.4.4.7 Teor de materiais voláteis

Durante a decomposição térmica, matéria é liberada na forma de gases voláteis e sólidos carbonosos. Como consequência, existe a formação de alcatrões na caldeira (BARROS, 2013).

3.4.4.8 Elementos principais: Al, Ca, Fe, Mg, K, Na, Si e Ti

Segundo Barros (2013), esses elementos possuem influência na mudança do comportamento de fusão das cinzas, causando corrosões nos equipamentos e escórias nas grelhas. Porém esses elementos são mais presentes nas folhas e

cascas. Portanto na madeira a concentração é menor, tanto destes como de outros elementos químicos.

3.5 Visão de mercado

3.5.1 Mercado Internacional

O consumo de pellets mundial tem obtido uma elevada demanda nos últimos anos. Desde 2000, em 12 anos os números cresceram em torno de dez vezes. A produção industrial terá que ser ampliada para que a crescente demanda possa ser atendida. A União Europeia consome 77% da produção de pellets na demanda mundial, e provavelmente em uma década metade de todos os pellets que são produzidos mundialmente serão comercializados como *commodity* de energia (OLIVEIRA, 2016).

Os incentivos e autorizações dos Estados-Membros da União Europeia são de grande importância para demanda de pellets industriais, pois a acessibilidade nesses países está sendo incerta ou impedida. Reino Unido, Itália, Dinamarca, Alemanha, Suécia, Bélgica, França e Áustria são os principais usuários de pellets de madeira da União Europeia. A Dinamarca e a Suécia, apesar de possuírem uma produção para uso doméstico significativa, dependem de certa forma de importações da região do Báltico e Rússia. Com as restrições portuárias na Escandinávia, o abastecimento pelo Mar Báltico ficou favorecido. Na Dinamarca possui uma planta posicionada no porto marítimo que é abastecida pela América do Norte. A Alemanha, Áustria, França e Itália por serem mais isoladas dependem da produção da América do Norte (CHUDY, 2016). O QUADRO 2 mostra a perspectiva de consumo desses países.

Quadro 2: Consumo internacional de pellets.

PAÍS	CONSUMO PELLETS 2016	PREVISAO CONSUMO 2020*	PREVISÃO CONSUMO 2020
REINO UNIDO	7.000.000	10.500.000	10.500.00
HOLANDA	1.000.000	2.500.000	3.400.000
BÉLGICA	1.200.000	3.500.000	3.500.000
DINAMARCA	2.200.000	3.000.000	3.300.000
SUÉCIA	1.000.000	1.200.000	1.500.000
CORÉIA DO SUL	1.900.000	4.400.000	8.200.000
JAPÃO	300.000	3.800.000	9.000.000
CANADÁ	300.000	500.000	2.800.000
ESTADOS UNIDOS	300.000	500.000	9.000.000

Fonte: Celso (2016) adaptado pela autora

Nota: A primeira previsão de consumo 2020 é da New Energy Finance, segunda previsão de consumo 2020 é da European Biomass Association (AEBIOM)

O Canadá possui um alto potencial para que a demanda de pellets de madeira cresça, por causa de políticas de descarbonização do governo federal, e políticas específicas de províncias como Alberta. Durante o período de 2010 a 2025 a estimativa de aumento da demanda de pellets é de cerca de 2,7 milhões de toneladas métricas. A China ainda gera incertezas tanto em níveis de demanda potencial, quanto em termos de produção. Pois apesar de não possuírem recursos florestais para fabricação de pellets de madeira, eles geram resíduos agrícolas em excesso, podendo ser aproveitados para produzir pellets (STRAUSS, 2017).

3.5.2 Mercado Nacional

Rasga (2013) argumenta que:

Devido às condições climáticas e de solo favoráveis, e ao volume apreciável de áreas livres para o crescimento de sua agricultura e de florestas plantadas, o Brasil se apresenta no cenário mundial como interessante candidato a liderar a produção mundial de biomassa, além de outros biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel.

Segundo Escobar e Coelho (2014), existem duas maneiras de se obter matéria prima para a produção de pellets de madeira, uma através de resíduos florestais, e

outra através de florestas energéticas, podendo variar com a disponibilidade de resíduos e com as características do local. Inicialmente as oportunidades estão nos resíduos gerados em indústrias de celulose, álcool, açúcar e madeiras. Porém a viabilidade do uso de florestas energéticas, a exemplo do cultivo de *Eucalyptus* e *Pinus*, que já possuem tradição nacional, para impulsionar o mercado de pellets no Brasil é promissora, merecendo atenção.

O Brasil produziu no ano de 2012 cerca de 57 mil toneladas de pellets de madeira. Já em 2013, esse número progrediu 8% subindo para 62 mil toneladas. Porém em 2014, a produção anual foi de apenas 49 mil toneladas, reduzindo 26 % da produção (AVIZ, 2016). De acordo com o mesmo autor o Brasil começou a exportar no ano de 2014 chegando a 1728 toneladas em outubro. De janeiro a maio de 2015 os valores variaram de 1350 a 1860 toneladas, crescendo 46 % em junho do mesmo ano. Em 2016, se comparado com 2015, houve crescimento no mês de maio de 19%, apresentando um crescimento nos valores de exportação.

Atualmente o Rio Grande do Sul tem estado a frente com relação a ser referência na fabricação de pellets de madeira, possuindo duas empresas em atividades e podendo receber uma empresa, Finagro, que é mineira com a intenção de instalar uma fábrica com capacidade de produção recorde de 1,8 milhões de toneladas do biocombustível, contando com a ajuda de fundos internacionais. De início possui um investimento de US\$ 320 milhões. Espera-se que em 2019 a produção seja de 900 mil toneladas por ano, e em 2022 atinja a capacidade máxima de produção. O estado já possui um empreendimento consolidado localizado em Rio Grande, a Tanac possui um financiamento inicial de US\$ 60 milhões e uma produção atual de 400 mil toneladas (HICKMANN, 2017).

Como mostra a TAB. 2, até 2016 existiam 13 empresas ativas de fabricação de pellets de madeira com uma produção de 75 mil toneladas por ano.

Tabela 2: Indústrias e capacidade de produção de pellets de madeira.

Nº	Indústria	Cidade/UF	Capacidade (t/ano)	Produção (t/ano)	Biomassa	Início (ano)	Situação Atual
1	Briquepar	Telêmaco Borba/PR	7.000	4.800	pinus	2004	On
2	PelletsBraz	Porto Feliz/SP	12.000	4.800	pinus	2004	On
3	Energia Futura	Benedito Novo/SC	9.000	4.800	pinus	2007	On
4	BR Biomassa	Maringá/PR	22.500	0	pinus	2008	Off
5	Ecopel	Itaju/SP	22.500	0	pinus	2008	Off
6	Koala Energy	Rio Negrinho/SC	60.000	30.000	pinus	2008	On
7	Línea Paraná	Sengés/PR	30.000	0	pinus	2008	Stand by
8	Wood Tradeland	Tunas/PR	24.000	0	pinus	2009	Off
9	Ecoxpellets	Bandeirantes/PR	37.500	0	pinus	2010	Off
10	Piomade	Farroupilha/RS	3.750	2.400	pinus	2010	On
11	Biopellets	Lins/SP	30.000	2.000	pinus	2010	On
12	Timber S.A.	Piên/PR	45.000	6.000	pinus	2012	On
13	Resisul Pellets	Itapeva/SP	3.000	2.400	pinus	2012	On
14	Iemol Pellets	S.João B. Vista/SP	3.000	2.000	pinus	2014	On
15	ARAUPEL pellets	Quedas Iguaçú/PR	6.000	5.000	pinus	2014	On
16	Vale Tibagi	Telêmaco Borba/PR	7.000	5.000	pinus/eucaliptos	2014	On
17	Chamape Pellets	Vale Real/RS	3.000	1.800	pinus	2014	On
18	Tanac Pellets	Rio Grande/RS	80.000	0	acácia-negra	2015	Projeto
19	Pellets Nordeste	Recife/PE	60.000	0	capim elefante	2015	Projeto
20	Raízen pellets	Jaú/SP	120.000	0	bagaço de cana	2015	Stand by
21	Foespel	São José Ausentes/RS	100.000	0	pinus	2015	Projeto
22	Incobio pellets	Concórdia/SC	12.000	4.000	pinus	2015	On
23	Cosan	Jaú/SP	175.000	0	palha/bagaço	2015	Stand by
Total			200.750	75.000			

Fonte: Escobar (2016).

3.6 Normatização e padronização da qualidade dos pellets de madeira

3.6.1 Norma Europeia

Segundo Garcia (2010), a normatização possui extrema importância quando se quer conquistar clientes. No Brasil não existe nenhuma legislação específica para pellets de madeira. Porém, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui pesquisadores para evoluir nesse sentido.

Por este motivo as empresas brasileiras utilizam o sistema de normas europeias a ENplus. De acordo com Quenó (2015), o sistema de certificação ENplus tem como objetivo fornecer pellets de madeira com qualidade definindo exigências de meios técnicos como, procedimentos operacionais e documentações, tornando a identificação e resoluções de problemas mais rápidas. Essas especificações são baseadas na ISO 9001.

Segundo o Manual ENplus do Sistema de Certificação de Qualidade para Pellets de Madeira (2015):

Os Licenciadores Nacionais irão definir regulamentos nacionais específicos no sentido de implementar regras gerais relacionadas com equipamentos de distribuição e aceitação de queixas. Os requisitos nacionais devem estar claramente identificados. As Empresas Certificadas devem cumprir as regras do Manual redigido pela ANPEB. No caso de se verificar alguma contenda acerca dos regulamentos definidos no Manual, prevalece a versão Internacional, com exceção dos requisitos nacionais.

Como mostra o QUADRO 3, a ENplus define três classes para qualidade de pellets:

Quadro 3 – Tipos de madeiras permitidas na produção de pellets

ENplus A1	ENplus A2	ENplus B
<ul style="list-style-type: none"> • Madeira de tronco • Resíduos e subprodutos não tratados quimicamente da indústria de processamento da madeira 	<ul style="list-style-type: none"> • Árvore inteira sem raízes • Madeira de tronco Resíduo de exploração florestal • Resíduos e subprodutos não tratados quimicamente da indústria de processamento da madeira 	<ul style="list-style-type: none"> • Madeira virgem da floresta, plantações e outro • Resíduos e subprodutos não tratados quimicamente da indústria de processamento da madeira • Madeira usada não tratada quimicamente

Fonte: Manual ENplus: Requisitos de Qualidade do Pellet (2015).

Baseando-se nas três classes para qualidade, a TAB. 3 mostra as especificações dos parâmetros listados pela ENplus.

Tabela 3 – Faixa de especificações dos parâmetros importantes dos pellets de madeira

Propriedade	Unidade	Enplus A1	Enplus A2	Enplus B	Norma de ensaio ¹¹
Diâmetro	mm	6 ± 1 ou 8 ± 1			ISO 17829
Comprimento	mm	3,15 < L ≤ 40 ⁴⁾			ISO 17829
Humidade	w-% ²	≤ 10			ISO 18134
Cinza	w-% ³	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2,0	ISO 18122
Durabilidade Mecânica	w-% ²	≥ 98,0 ⁵⁾	≥ 97,5 ⁵⁾		ISO 17831 - 1
Finos (<3,15 mm)	w-% ²	≤ 1,0 ⁶⁾ (≤ 0,5 ⁷⁾)			ISO 18846
Temperatura dos pellets	°C	≤ 40 ⁸⁾			
PCI	kWh/kg ²	≥ 4,6 ⁹⁾			ISO 18125
Densidade Aparente	kg/m ³²	600 < BD ≤ 750			ISO 17828
Aditivos	w-% ²	≤ 2 ¹⁰⁾			-
Azoto	w-% ³	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0	ISO 16948
Enxofre	w-% ³	≤ 0,04	≤ 0,05		ISO 16994
Cloro	w-% ³	≤ 0,02		≤ 0,03	ISO 16994
Temperatura de Deformação da cinza ¹	°C	≥ 1200	≥ 1100		CEN/TC 15370-1
Arsênio	mg/kg ³	≤ 1			ISO 16968
Cádmio	mg/kg ³	≤ 0,5			ISO 16968
Crômio	mg/kg ³	≤ 10			ISO 16968
Cobre	mg/kg ³	≤ 10			ISO 16968
Chumbo	mg/kg ³	≤ 10			ISO 16968
Mercúrio	mg/kg ³	≤ 0,1			ISO 16968
Níquel	mg/kg ³	≤ 10			ISO 16968
Zinco	mg/kg ³	≤ 100			ISO 16968

Fonte: Manuel ENplus: Requisitos de Qualidade do Pellet (2015).

3.6.2 Norma Americana

De acordo com Quenó (2015), a norma americana possui menos exigências que as europeias, pois não há menção a respeito de teores de enxofre e nitrogênio e nem sobre poder calorífico. Acredita-se que isso seja devido à variedade de espécies de madeira, principalmente as folhosas, pois geram mais cinzas na combustão que as coníferas.

As normas seguidas pelos Estados Unidos são recomendadas pelo Pellet Fuel Institute (PFI) que define padrões e especificações desde 1995, porém quem garante a qualidade dos produtos fabricados são os produtores, pois devem informar as características na etiqueta anexa ao produto (GARCIA, 2010). A TAB.4 contendo as normas americanas está a seguir:

TABELA 4 – Faixa de especificação americana para pellets de madeira

Especificação	Unid	EUA
Diâmetro [Ø]	mm	6,35 a 7,25
Comprimento	mm	≤ 25,4
Densidade a granel	kg/m ³	640 a 736 608 a 736
Finos < 3mm	%	≤ 0,50
Teor de umidade	%	≤ 6 ≤ 8 ≤ 10
Teor de cinzas	%	<1 <3
PCI	MJ / kg	Especificar o teor
Durabilidade	%	≥ 97,5 ≥95,0

Fonte: Garcia (2010) adaptado pela autora.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no laboratório da empresa T.M.F Fertilizantes, situado em Pains-MG.

Foram realizadas análises em duas amostras de pellets de madeira. Para evitar favorecimento ou marketing, os nomes das empresas foram preservados deixando apenas os estados de origem.

A amostra vinda de São Paulo foi chamada de P1, e a amostra vinda do Paraná foi chamada de P2. Os pellets das duas empresas são produzidos a partir de madeira *Pinus*.

O método de análise foi baseado em uma dissertação produzida por Garcia (2010) e uma tese de Quenó (2015). Pelo fato do Brasil não possuir normas específicas para pellets de madeira, Estes pesquisadores realizaram ensaios baseando-se nas normas europeia e americana.

4.1 Determinação de umidade

Em cadinho ou béquer previamente tarado, pesou-se na balança analítica da marca Bel Engineering, modelo M214Ai com precisão de 0,0001 g, 10 gramas de amostra levando à estufa da marca Odontobrás, modelo EL 1.1, a uma temperatura de 103°C por um período de 4 horas. Em seguida o recipiente foi transferido para o dessecador até estabilizar a massa.

A umidade pôde ser calculada pela equação 1.

$$\text{Teor de umidade (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \quad (1)$$

Sendo:

m_1 a massa inicial da amostra úmida (g);

m_2 a massa final da amostra seca(g).

4.2 Determinação do teor de cinzas

Em um cadinho previamente tarado, pesou-se na balança da marca Bel Engineering, modelo M214Ai, 1 grama da amostra, levando à mufla marca Fornos Magnu's, modelo 04/14, em uma temperatura de 575 ° C por 4 horas. Após esse

período colocou-se a amostra já calcinada no dessecador até a estabilidade de temperatura e massa.

O teor de cinzas pode ser calculado a partir da equação 2.

$$\text{Teor de cinzas (\%)} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad (2)$$

Sendo:

m_1 a massa do cadinho(g);

m_2 a massa do cadinho e da amostra(g);

m_3 a massa do cadinho e das cinzas(g).

4.3 Determinação de dimensão

Foram selecionados 40 pellets de modo aleatório e utilizando um paquímetro digital foi verificado o diâmetro e comprimento de cada um dos pellets. Em seguida foi calculada a média dos diâmetros e comprimentos encontrados.

4.4 Determinação de densidade a granel

Utilizando-se uma proveta de 250 ml preencheu-se até a borda com os pellets, em seguida a pesou em uma balança semi analítica da marca Cadence, modelo BAL 153 com precisão de 0,001 g, obtendo a massa final (FIG. 7).

A densidade granel pôde ser calculada utilizando a equação 3.

$$\rho(\text{g/ml}) = \frac{m_2}{v} \quad (3)$$

Sendo:

m_2 a massa final da proveta cheia(g);

v o volume da proveta(ml).

4.5 Testes estatísticos

Para avaliar os resultados, utilizou-se o programa de estatística SISVAR. Desse modo os dados obtidos a partir das análises realizadas nas duas amostras de pellets foram submetidos ao teste de Tukey ao nível de significância de 5%. A normalidade dos dados foi verificada através dos testes de Shapiro wilk. (FERREIRA, 2011).

Os ensaios para determinação da umidade, teor de cinzas e densidade a granel foram realizadas em tetraplicata.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Relatórios de teste de normalidade de Shapiro Wilk e testes de Tukey se encontram em anexos.

5.1 Análise física dos pellets de madeira

A seguir na TAB. 5 podem-se observar os resultados da caracterização física das duas amostras de pellets avaliadas.

Tabela 5 – Propriedades físicas dos pellets de madeira

Propriedades	Unidade	Pellets 1	Pellets 2	Média	Erro Padrão	CV %
Densidade a granel	kg/m ³	592,50	582,50	587,50	0,01	3,90
Comprimento	mm	20,13	11,60	15,86	0,68	26,95
Diâmetro	mm	5,98	6,00	5,99	0,02	1,87

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A densidade a granel é um parâmetro que envolve estocagem, transporte e manuseio, pois quanto maior a densidade, maior será a quantidade de pellets que será possível transportar e estocar e dessa forma haverá uma redução de custos com esses processos (CAMARGO, 2013).

É possível analisar que não houve discrepância significativa estatisticamente entre as duas amostras, já que o p valor de 0,5598 é maior que o nível de significância de 0,05. Observa-se também um baixo erro padrão e baixo coeficiente de variação, indicando baixa dispersão entre as médias analisadas. As normas europeia e americana exigem que a densidade a granel seja acima de 600 kg/m³. Apesar de as médias dos valores obtidos das duas amostras estarem abaixo das normas, alguns

dos resultados individuais atenderam as especificações, não desfavorecendo o processo. (ENPLUS HANDBOOK, 2015; GARCIA, 2010).

Houve uma grande diferença estatística e visual entre os dois pellets analisados com relação ao comprimento, o p valor foi de 0,00 menor que o nível de significância aceito que é de 0,05. O Pellet 1 apresentou uma média de 20,13 mm, superior ao apresentado pelo Pellet 2, que foi de 11,60 mm, com isso o coeficiente de variação obtido foi de 26,95%, considerado alto estatisticamente. Apesar dessas diferenças os pellets analisados atendem as exigências da norma europeia para esse parâmetro, que define uma faixa de 3,15 a 40 mm. Essa diferença de comprimento pode ter como causa a peletizadora utilizada ou até a preferência do fabricante. Com isso constata-se que há variações entre os processos de fabricação das duas empresas.

Com relação ao diâmetro, os pellets apresentaram o mínimo de variação entre eles é possível observar um p valor de 0,3204. O coeficiente de variação de 1,87% mostra a baixa dispersão entre as médias. O Pellet 1 obteve uma média de diâmetro de 5,98 mm e o Pellet 2 de 6,00 mm, atendendo a norma de qualidade europeia que exige pellets com diâmetro entre 6 a 8 mm. (ENPLUS HANDBOOK, 2015). Possivelmente esses pellets foram fabricados com uma matriz perfurada que possui diâmetro padronizado de 6 mm.

Garcia (2010) também avaliou fisicamente pellets e percebeu que os diâmetros também não obtiveram variações significativas, mantendo uma padronização de 6,00 mm. Encontrou uma grande variação entre os comprimentos dos pellets, mínimo de 6,60 mm e máximo 34,40 mm. Em relação a densidade a granel dos pellets analisados ela se manteve na faixa de 638,00 a 647,40 kg/m³. Com base nesses dados, observa-se que todos os resultados atenderam as normas.

5.2 Análise química dos pellets de madeira

Na TAB. 6 podem-se observar os resultados da caracterização química das duas amostras de pellets avaliadas.

Tabela 6 – Propriedades químicas dos pellets de madeira

Propriedades	Unidade	Pellets 1	Pellets 2	Média	Erro Padrão	CV %
Umidade	%	7,65	7,22	7,43	0,18	4,76
Teor de cinzas	%	2,91	2,76	2,84	0,20	14,04

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Durante a vaporização da água equivalente a umidade do material, uma parcela da energia liberada é consumida ao longo do processo de combustão. (CARVALHO, 2011). O teor de umidade é um parâmetro de extrema importância, com isso quanto menor o teor de umidade do pellet de madeira maior será a energia disponível. (VALE et al., 2000).

Segundo as normas da ENplus e PFI para que o pellet de madeira tenha uma combustão eficiente, é necessário que sua umidade esteja abaixo de 10% (ENPLUS HANDBOOK, 2015; GARCIA, 2010).

As duas amostras apresentaram valores de umidade estatisticamente parecidos, já que p valor de 0,1362 é maior que o nível de significância de 0,05. O coeficiente de variação de 4,76% é considerado baixo, bem como seu erro padrão de 0,18 é possível observar ainda que as duas amostras obtiveram valores dentro da especificação exigida, não possuindo dessa forma alto erro padrão e variação significativa entre elas.

O tipo de madeira utilizada, cascas, folhas, podem fazer com que o teor de cinzas varie, sendo a madeira sem casca e folhas a que apresenta menor teor de cinzas. Contendo contaminantes, esse parâmetro merece atenção pois a cinza que não é queimada continua no local da queima, dessa forma exige trabalho para retirá-la e também podendo causar corrosão nos equipamentos. (CARVALHO, 2011).

Utilizando o teste de Shapiro Wilk, foi possível observar a normalidade dos dados. O coeficiente de variação de 14,04% mostrando assim uma média dispersão de dados.

Com base na norma europeia o teor de cinzas varia de 0,7% a 2,0% dependendo da classe de madeira utilizada (ENPLUS HANDBOOK, 2015). Porém a norma americana possui uma faixa de especificação mais ampla aceitando pellets com teores de 1 a 3% de cinzas. Com isso, seguindo a norma europeia os pellets

analisados seriam rejeitados uma vez que apresentaram valores acima da especificação, isso faz com que o resíduo gerado ao final da combustão aumente, e sejam necessárias manutenções para a retirada. Porém seguindo a norma americana esses pellets seriam aceitos e aprovados pelo controle de qualidade. Os pellets poderiam ser rejeitados para uso doméstico pela quantidade de cinzas, porém seriam adequados para uso industrial.

Garcia (2010) também avaliou quimicamente os pellets, e encontrou um teor de umidade variando entre 6,76% a 10,25%. O teor de cinzas encontrados por Garcia teve como maior índice percentual 0,93%. Da mesma forma, as análises químicas feitas por ele ficaram dentro dos padrões americanos e europeus.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os pellets de madeira possuem grandes chances de ganhar destaque no mercado brasileiro devido às vantagens que apresentam. Apesar da indústria ser recente, o Brasil possui vasta produção de matéria-prima, seja de resíduos ou florestas energéticas, e clima para a produção de pellets.

Parâmetros físicos como o comprimento que apesar de possuir um coeficiente de variação alto, e diâmetro estão conforme os padrões europeus e americanos. A densidade a granel ficou abaixo das especificações de qualidade, essa não conformidade pode ser devido a amostragem ou algum erro casual. O parâmetro químico umidade, atendeu as normas, ficando dentro da faixa de especificação exigida. O teor de cinzas obteve um coeficiente de variação mediado, ficando fora da faixa exigida pela norma europeia, porém atendeu a norma americana que exige pellets de 1 a 3%.

7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Otimização do processo de produção de pellets de madeira;
- Controle de qualidade em fábricas de pellets de madeira;
- Comparação dos pellets de madeira com os demais biocombustíveis;
- Determinação do poder calorífico dos pellets de madeira.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R.V. **Gaseificação de biomassa: uma análise teórica e experimental.** 2007. p.205, dez.2007.

ASSOCIAÇÃO GAÚCHA DE EMPRESAS FLORESTAIS. **Biomassa florestal no Brasil é responsável por geração de riqueza e milhares de empregos.** Porto Alegre, 2016.

AVIZ, P. G. **Análise de mercado de pellets de madeira no Brasil.** 2016. p. 40. TCC (Graduação em Engenharia Industria Madeireira) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

BARROS, C.S.A. **Produção de Pellets para valorização de resíduos provenientes da indústria corticeira.** 2013. p. 119. Tese (mestrado) - Universidade do Minho Escola de Engenharia, Guimarães, 2013.

BIOMASSA E BIOENERGIA. **O que é Biomassa.** Disponível em: < <http://www.biomassabioenergia.com.br/imprensa/o-que-e-biomassa-/20110811-103208-u704> >. Acesso em: 09 de maio de 2017.

BIOMASSAS BR-ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Resíduos florestais: mais uma fonte econômica.** Disponível em: < <http://www.biomassabr.com/bio/resultadonoticias.asp?id=1580> >. Acesso em: 23 de maio de 2017.

BIOMASSAS BR-ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Tecnologias de aproveitamento da biomassa.** Disponível em: < <http://www.biomassabr.com/bio/resultadonoticias.asp?id=779> > Acesso em: 19 de maio de 2017.

BRAND, M. A; SCHMIDT-FURTADO-STÂHELIN, T; CECCATO FERREIRA, J; DAIAN NEVES, M. Produção de biomassa para geração de energia em povoamento de Pinus taeda L. com diferentes idades. **Revista Árvore.** Viçosa, v.38, n.2, março/abril. 2014. Disponível em: < <http://www.redalyc.org/pdf/488/48831289016.pdf> > ISSN 0100-6762. Acesso em: 26 de fev 2017.

BRASIL. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS. **Biomassa florestal para geração de energia renovável.** Brasília, 2016. Disponível em < <http://www.florestal.gov.br/snif/noticias-do-sfb/biomassa-florestal-para-geracao-de-energia-renovavel> >. Acesso em 23 de maio de 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal de Energia: Dezembro 2016.** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/01+-+Boletim+Mensal+de+Energia+%28Dezembro+2016%29+%28PDF%29/66fa4b91-f16e-4b9f-ae2a-edc3ad550fc8?version=1.8>>. Acesso em: 07 de maio de 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal de Energia**: Janeiro 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/7994286/Boletim+Mensal+de+Energia+jan+2017.pdf/f9f255a3-7c0e-491d-8f6a-672907692b77>>. Acesso em: 07 de maio de 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira Exercício 2015**. Brasília, DF, 2016.

CAMARGO, B.S. **Avaliação das propriedades físicas, químicas e térmicas dos pellets de madeira**. 2013. 50 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) -Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Câmpus Experimental de Itapeva, Itapeva, 2013.

CARASCHI, J.; GARCIA, D. Pellets de madeira – Expansão e Diversificação. **Revista da Madeira**. 127. ed. Rio Grande do Sul, março, 2011. Disponível em <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1533&subject=E%20mais&title=Pellets%20de%20madeira%20%96%20Expans%20e%20Diversifica%20> . Acesso em: 02 de março 2017.

CARVALHO, N. P. R. Implementação do plano de control, inspenção e ensaio na produção de pellets de madeira. 43 f. Tese (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Instituto Politécnico de Viseu, Portugal, 2011.

CHUDY, R. **The EU as the world's largest wood pellet market 27**. Forest Monitor, oct. 2016. Disponível em: <<https://www.forest-monitor.com/en/eu-wood-pellet-market/>>. Acesso em: 30 maio. 2017

CORTEZ L.A.B; LORA E.E.S. Biomassa no Brasil e no mundo. In:GÓMEZ E.O (org). **Biomassa para Energia**. São Paulo: Unicamp, 2008. p. 17-18.

DIAS, J.M.C.S et al. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais **Documentos**, v. 13, n. 1, p. 131, out. 2012.

DEVES, R.; FRANCIO, Nilso. **A importância do aproveitamento dos resíduos de Madeira como alternativa de energia renovável da Empresa briquetes alto da glória**, 2007. Disponível em: <<http://sinop.unemat.br/projetos/ciclodopalestrasemcsa/historico/1/02.pdf>>. Acesso em: 23 de maio de 2017.

ENERGÍAS RENOVABLES. **Fabricación de pellets**. 2014. Disponível em: <<http://www.energiasrenovablesinfo.com/biomasa/fabricacion-pellets/http://www.energiasrenovablesinfo.com/biomasa/fabricacion-pellets/>>. Acesso em 23 de maio de 2015.

ENPLUS HANDBOOK. **Parte 2**: Sistema de Certificação de Qualidade para Pellets de Madeira: European Pellet Council (EPC), 2015.

ENPLUS HANDBOOK. **Parte 3**: Requisitos de qualidade do pellet. Bélgica: European Pellet Council (EPC), 2015, 10 p.

ESCOBAR, J. F; COELHO, S. T. Situação da biomassa lignocelulósica no Brasil: Perspectiva para o uso de pellets de madeira nos setores energo-intensivos. **Jornal biomassa Br**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 3, nov. /dez. 2014.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical **analysis system**. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

GARCIA, D. P; CARASHI, J.C; VENTORIM, G; **Caracterização energética de pellets de madeira**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 7, 2012, São Paulo.p.1-6.

GARCIA, D.P. **Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil**. 2010. 85 p. Dissertação (Mestre) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2010.

GARCIA, D.P; CARASHI, J.C; VENTORIM, G. Caracterização energéticas de pellets de madeira. **Revista da madeira**, Curitiba, v. 135, n. 24, p. 16, maio 2013.

GARCIA, D. P. **“Pellets” de madeira**: Revisão bibliográfica. 2008. 46 p. TCC (Graduação) - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO", Itapeva, 2008.

GARCIA, D.P. Os desafios dos pellets de madeira: competitividade. **Revista opiniões**, Ribeirão Preto, n. 38, p. 42-43, dez. /fev.2015.

GIANNINI, C.F. **Gestão dos resíduos industriais e a qualidade de vida**. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL, 4, 2010, Campo Mourão, Felcilcam: Eepa, 2010.p. 1-9.

GOLDEMBERG, J. **Biomassa e energia**. São Paulo, vol.32, n.3, p. 582-587, março 2009.

GRUPO ECOENERGIA – ECOPELL BRASILEIRA INDUSTRIA DE PELLETS. **Análise de Mercado Mundial de Biomassa**. Disponível em <[http://www.grupoecoenergia.com.br/energialimpa/?c=16&id=34&ECOPELL+BRASIL EIRA+IND%DASTRIA+DE+PELLETS+>](http://www.grupoecoenergia.com.br/energialimpa/?c=16&id=34&ECOPELL+BRASIL+EIRA+IND%DASTRIA+DE+PELLETS+>). Acesso em 30 de maio de 2017.

HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma abordagem tecnológica**. 2004. 204 f. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

HICKMANN, C. Três fábricas de pellets impulsionam o mercado da madeira no Rio Grande do Sul. **Jornal do comércio**, Porto Alegre, v. 84, n. 239, p. 11, maio 2017.

HORST, D. J. **Avaliação da produção energética a partir de ligninas contidas em biomassas**. 2013. 106 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2013.

LIPPEL. **Resíduos florestais: Um grande potencial para geração de energia.**

Disponível em: < <http://www.lippel.com.br/br/noticias/residuos-florestais-um-grande-potencial-para-geracao-de-energia-39.html> >. Acesso em 23 de maio de 2017.

MANSOUR, M. T. C; VICHI, F. M. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p.757-767, 2009.

Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n3/a19v32n3.pdf> >. Acesso em: 07 de maio de 2017.

MENDES, CLAUDIA. **Normas de qualidade e utilização no mercado de calor.** In: WORKSHOP-BIOCOMBUSTÍVEIS SOLIDOS-PRODUÇÃO QUALIDADE E UTILIZAÇÃO NO MERCADO DE CALOR, 2011, Miranda do Corvo, CBE, 2010. p. 1-40.

OLIVEIRA, C. M. **Pellets: tecnologias e mercado internacional.** Curitiba,2016.

OLIVEIRA, C. **Pellets de Madeira.** Blog Biomassa Bioenergia Pellets Energia.

Disponível em < <http://abibbrasil.wixsite.com/blogbiomassa/single-post/2015/07/29/Pellets-de-Madeira>>. Acesso em: 21 de maio de 2017.

PELHEAT. **Monitoring the moisture content of wood pellets.** Disponível em: <http://www.pelheat.com/wood_pellet_moisture.html>. Acesso em 28 de maio de 2017.

PORTAL ENERGIA. **O que é energia da biomassa.** 20 de abril de 2016. Disponível em < <https://www.portal-energia.com/o-que-e-energia-biomassa/> > Acesso em: 14 de maio de 2017.

QUENÓ, L. R. M. **Produção de pellets de madeira no Brasil: estratégia, custo e risco do investimento.** 162 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal. Brasília, 2015.

RASGA, R.O.S. **Pellets de madeira e sua viabilidade econômico-financeira na substituição do óleo BPF-A1 em pequenos e médios consumidores no Estado de São Paulo.** 2013. p. 159. Dissertação (Mestrado) – Fundação Getúlio Vargas Escola de Economia de São Paulo, São Paulo, 2013.

SANDER, R. **Viabilidade de implantação de unidade produtora de pellets no extremo sul da Bahia.** 2011. p. 32. Trabalho (Pós-Graduação) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SANTIAGO, F.L.S. **Aproveitamento de resíduos florestais de Eucalyptus spp na indústria de fabricação de celulose para geração de energia térmica e elétrica.** 2013. 108 p. Tese (Doutor) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

SANTOS, J.R.S. **Estudo da biomassa torrada de resíduos florestais de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar para fins energéticos**.2012. 69 p. Tese (Mestrado) -Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

STRAUSS, W. **Global pellet market outlook 2017**: Overview of global wood pellet markets: historic and future demand. Canadian: Canadian Biomass, 2017.
Disponível em: <<https://www.canadianbiomassmagazine.ca/pellets/growing-demand-for-pellets-6074>>. Acesso em: 30 de maio de 2017.

VALE, A. T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* hill ex- maiden e *Acacia mangium* willd em diferentes níveis de adubação, **Cerne**, Lavras, v.6, n.1, p.83-88, 2000.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas**. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado) – Energia na Agricultura - Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Cascavel/PR, 2012.

ANEXO A – Teste de normalidade de Shapiro Wilk para densidade a granel

Teste de normalidade W de Shapiro-Wilk e seu valor de significância.
Algoritmo usado: AS R94. T. Applied Statistic - Serie C (1995) vol.44, n4.

Variável	n	W	Pr<W
DENSIDADE_	8	0.9143667181626	0.3858409

ANEXO B – Teste de Tukey para densidade a granel

Arquivo analisado:

C:\Users\Thaiza\Desktop\Densidad.DBF

 Variável analisada: DENSIDADE_

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
EMPRESA	1	0.000200	0.000200	0.381	0.5598
erro	6	0.003150	0.000525		
Total corrigido	7	0.003350			
CV (%) =	3.90				
Média geral:	0.5875000	Número de observações:	8		

 Teste Tukey para a FV EMPRESA

DMS: 0,0396449803396694 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 4
 Erro padrão: 0,0114564392373896

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	0.582500 a1	
1	0.592500 a1	

ANEXO C – Teste de normalidade Shapiro Wilk para comprimento

Teste de normalidade W de Shapiro-Wilk e seu valor de significância.
Algoritmo usado: AS R94. T. Applied Statistic - Serie C (1995) vol.44, n4.

Variável	n	W	Pr<W
COMPRIMENT	80	0.9451672004352	0.0018416

ANEXO D – Teste de Tukey para comprimento

Arquivo analisado:

C:\Users\Thaiza\Desktop\Comprime.DBF

 Variável analisada: COMPRIMENT

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
EMPRESA	1	1453.512500	1453.512500	79.506	0.0000
erro	78	1425.975000	18.281731		
Total corrigido	79	2879.487500			
CV (%) =	26.95				
Média geral:	15.8625000	Número de observações:	80		

 Teste Tukey para a FV EMPRESA

DMS: 1,90340653769972 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 40
 Erro padrão: 0,676049753517276

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	11.600000	a1
1	20.125000	a2

ANEXO E – Teste de normalidade Shapiro Wilk para diâmetro

Teste de normalidade W de Shapiro-Wilk e seu valor de significância.
Algoritmo usado: AS R94. T. Applied Statistic - Serie C (1995) vol.44, n4.

Variável	n	W	Pr<W
DIAMETRO_M	80	0.0889037394328	0.0000000

ANEXO F – Teste de Tukey para diâmetro

Arquivo analisado:

C:\Users\Thaiza\Desktop\Diametro.DBF

 Variável analisada: DIAMETRO_M

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
EMPRESA	1	0.012500	0.012500	1.000	0.3204
erro	78	0.975000	0.012500		
Total corrigido	79	0.987500			
CV (%) =	1.87				
Média geral:	5.9875000	Número de observações:	80		

 Teste Tukey para a FV EMPRESA

DMS: 0,0497711767203493 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 40
 Erro padrão: 0,0176776695296637

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	5.975000	a1
2	6.000000	a1

ANEXO G – Teste de normalidade Shapiro Wilk para umidade

Teste de normalidade W de Shapiro-Wilk e seu valor de significância.
Algoritmo usado: AS R94. T. Applied Statistic - Serie C (1995) vol.44, n4.

Variável	n	W	Pr<W
UMIDADE	8	0.9589826570259	0.8003545

ANEXO H – Teste de Tukey para umidade

Arquivo analisado:

C:\Users\Thaiza\Desktop\Umidade.DBF

 Variável analisada: UMIDADE

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
EMPRESA	1	0.369800	0.369800	2.958	0.1362
erro	6	0.750000	0.125000		
Total corrigido	7	1.119800			
CV (%) =	4.76				
Média geral:	7.4300000	Número de observações:	8		

 Teste Tukey para a FV EMPRESA

DMS: 0,611735327559227 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 4
 Erro padrão: 0,176776695296637

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	7.215000	a1
1	7.645000	a1

ANEXO I – Teste de normalidade Shapiro Wilk para teor de cinzas

Teste de normalidade W de Shapiro-Wilk e seu valor de significância.
Algoritmo usado: AS R94. T. Applied Statistic - Serie C (1995) vol.44, n4.

Variável	n	W	Pr<W
TEOR_DE_CI	8	0.9511832274418	0.7231556

ANEXO J – Teste de Tukey para teor de cinzas

Arquivo analisado:

C:\Users\Thaiza\Desktop\Cinzas.DBF

 Variável analisada: TEOR_DE_CI

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
EMPRESA	1	0.046513	0.046513	0.293	0.6076
erro	6	0.951475	0.158579		
Total corrigido	7	0.997987			
CV (%) =	14.04				
Média geral:	2.8362500	Número de observações:	8		

 Teste Tukey para a FV EMPRESA

DMS: 0,689019670835307 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 4
 Erro padrão: 0,199109998911824

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	2.760000	a1
1	2.912500	a1