

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RODRIGO SIMETTI

DIAGNÓSTICO EM UMA INDÚSTRIA DE *PELLETS* NO PARANÁ

**CURITIBA**

**2013**

RODRIGO SIMETTI

**DIAGNÓSTICO EM UMA INDÚSTRIA DE *PELLETS* NO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão apresentado à  
Disciplina Estágio Profissionalizante em  
Engenharia Industrial Madeireira,  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Florestal, do Curso de Engenharia Industrial  
Madeireira, Setor de Ciências Agrárias, da  
Universidade Federal do Paraná, como  
requisito parcial para a obtenção do título de  
“Engenheiro Industrial Madeireiro”

Orientador: Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva

**CURITIBA**

**2013**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Cassio e Lauci, pela paciência, esforço, toda dedicação e tempo que tiveram em minha educação, e compreensão em todos os problemas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva, por todo apoio e conversas, além da confiança, que foram fundamentais em minha formação.

À Gabriela Pressanto, minha namorada, por estar ao meu lado.

Aos meus amigos Fernando Helmuth Syring Marangon, Gilson Bauer Schultz e Marcelo Alonso Alvarez Fuentes, que dividiram comigo esses anos de graduação, pela amizade.

Aos amigos e colegas do curso de Engenharia Industrial Madeireira, especialmente à Mariana Malagurti e Tamires Sfeir, pelo tempo e todas as palavras trocadas, além de “fecharem o abacaxi”.

A todos que fizeram e fazem parte do Laboratório de Energia de Biomassa – UFPR, pela ajuda e troca de experiências.

À equipe, professores e funcionários, do curso de Engenharia Industrial Madeireira e do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal – UFPR.

À empresa Timber Creek Farms por disponibilizar os dados, principalmente ao Marcelo Dalla Vecchia e Ronaldo Marcon pelo tempo e esclarecimentos.

## RESUMO

O presente trabalho pretende demonstrar um estudo de caso sobre a produção de *pellets* de madeira, produto que se apresenta com uma forma de melhorar a biomassa como fonte de energia, na região sul do Brasil. A indústria de *pellets* é recente no Brasil, ainda existem poucos estudos na área e não há normatização para o produto no mercado nacional, enquanto na Europa e América do Norte esse produto é consolidado e existem normatizações para seu uso industrial e doméstico. Foram avaliadas as propriedades energéticas, físicas e mecânicas de três diferentes tipos de *pellets* feitos pela empresa e da matéria-prima utilizada, assim como o consumo de energia elétrica necessária na produção dos *pellets*. Os produtos avaliados demonstraram haver diferenças significativas na qualidade final dos mesmos. Esses produtos ainda não atingem o nível de qualidade exigido por normas internacionais, sendo os pontos-chaves para isso o poder calorífico inferior e o teor de cinzas.

Palavras-Chave: *Pellets* de madeira. Energia de biomassa. Energia renovável.

## **ABSTRACT**

The present work aims to demonstrate a case study on the production of wood pellets, product put up with a way to improve biomass as an energy source, in southern Brazil. The pellet industry is recent in Brazil, there are few studies in the area and there is no standardization for the product in the domestic market, while in Europe and North America this product is consolidated and there are norms for industrial and household usage. Energy, physical and mechanical properties of three different types of wood pellets made by the company and the raw material used, as well as the consumption of electrical energy required for the production of pellets were evaluated. Products evaluated showed significant differences in the final quality. These products do not yet reach the level of quality required by international standards, and the key points for this are the lower calorific value and ash content.

Keywords: Wood pellets. Biomass energy. Renewable energy

## SUMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>9</b>
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	9
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>10</b>
3.1	ENERGIA E BIOMASSA	10
3.2	CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DA MADEIRA	11
3.2.1	Densidade	11
3.2.2	Umidade	11
3.2.3	Composição química elementar e imediata	11
3.2.4	Poder calorífico	12
3.3	PELLETIZAÇÃO DA MADEIRA	13
3.3.1	Pelletizadora	14
3.3.2	Custo de produção	15
3.3.3	Normas para pellets	16
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>19</b>
4.1	LEVANTAMENTO DOS DADOS	19
4.1.1	A Empresa	19
4.2	ANÁLISE DO MATERIAL	19
4.2.1	Umidade	19
4.2.2	Composição química imediata	20
4.2.3	Poder calorífico	21
4.2.4	Resistência mecânica	21
4.2.5	Densidade a granel	21
4.2.6	Densidade energética	22
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>23</b>
5.1	PRODUÇÃO	23
5.2	ANÁLISE DO MATERIAL	24

<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES.....</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>28</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O atual cenário global tem uma demanda por energia crescente, com a matriz energética mundial apresentando atualmente um perfil no qual as fontes não renováveis representam a maior parte. Porém, a busca e utilização por fontes renováveis tem crescido. Entre as fontes de energia renovável a biomassa, principalmente a madeira e a cana de açúcar, têm papel importante, sendo utilizada desde os primórdios pela humanidade, acompanhando esta durante sua história.

Com o desenvolvimento industrial, iniciado no século XVIII, houve uma grande mudança na demanda por energia. As fontes fósseis começaram a ganhar maior importância e tiveram maior exploração e desenvolvimento tecnológico, mas os aspectos ambientais e a finitude desses combustíveis demoraram algum tempo para começarem a ser quantificados. O possível aquecimento global, com acréscimo de dióxido de carbono na atmosfera, o aumento do preço do petróleo, junto com a demanda crescente por energia fizeram com que a madeira retornasse com um papel importante entre as fontes de energia.

A indústria de processamento de madeira apresenta grandes taxas de resíduos, que tradicionalmente já são utilizados como fonte de energia, através do processo de combustão direta. Porém, muitas empresas não têm demanda energética para instalação de queimadores em suas instalações, fazendo desse material um passivo da produção. Comumente esses materiais apresentam baixa densidade e alto teor de umidade, inviabilizando o transporte desses por grandes distâncias. A *pelletização* se apresenta como solução para esse problema, por ser um processo no qual a densidade aumenta e teor de umidade diminui, facilitando assim o transporte e a armazenagem do produto.

## 2 OBJETIVO

Esse trabalho tem como objetivo caracterizar a produção de *pellets* de madeira em uma indústria instalada na cidade Piên/Paraná.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- a. Avaliar as características dos *pellets* produzidos.
- b. Quantificar a energia utilizada no processo.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 ENERGIA E BIOMASSA

Os biocombustíveis têm sua participação relativa estabilizada nas últimas décadas na matriz energética mundial, como mostra a Figura 1, mas em termos totais eles passaram de 647 Mtoe, em 1973, para 1311 Mtoe, em 2011 (ENCY, 2013).

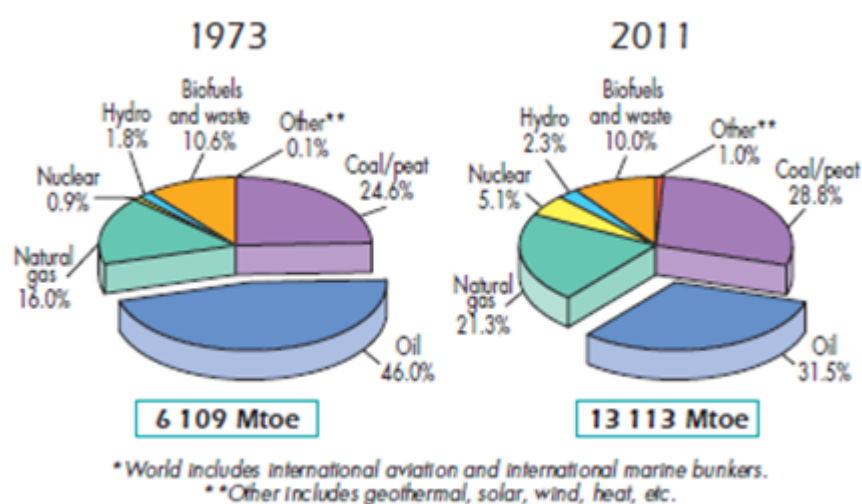


FIGURA 1 - CONTRIBUIÇÃO DE CADA FONTE ENERGÉTICA NA MATRIZ MUNDIAL NO ANOS DE 1973 E 2011  
 FONTE: ENCY (2013)

A biomassa é responsável por 13% a 14% de toda energia produzida no mundo, tendo maior representatividade na matriz energética de países em desenvolvimento, chegando a 90% em Uganda e Ruanda, e 30% na China e Brasil, porém de forma errônea é tida como um combustível inferior. (ROSILLO-CALLE; BAJAY; ROTHMAN, 2005)

Segundo Brand (2007) a indústria de base florestal gera grandes quantidades de resíduos que podem ser aproveitados para fins energéticos. Serrarias geram entre 50% e 70% de resíduos, empresas de laminação chegam a gerar 60% e a indústria de painéis 40%. A Figura 2 apresenta o fluxo de geração de resíduos em indústrias de base florestal.

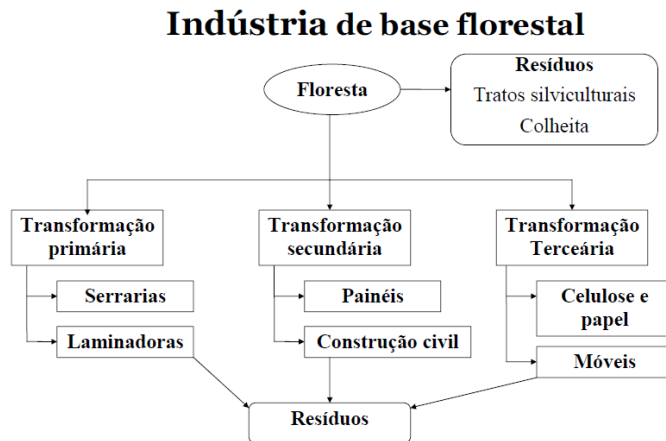


FIGURA 2 - FONTES DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL  
 FONTE: BRAND (2007)

## 3.2 CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DA MADEIRA

### 3.2.1 Densidade

Segundo Moreschi (2012) a densidade da madeira é um reflexo fiel da quantidade de material lenhoso por unidade de volume, ou ainda do volume de espaços vazios existente na madeira. Podendo variar de 0,13 a 1,40 g/cm<sup>3</sup>, para *Ochroma lagopus* e *Guajacum officinale* respectivamente, sendo esses os limites biológicos dessa propriedade da madeira.

### 3.2.2 Umidade

A umidade é um fator importante para a geração de energia de biomassa devido a duas razões: a ampla variação que ela ocorre, em função de fatos diversos, o que dificulta o processo de combustão; e o fato que a água tem poder calorífico negativo, ou seja, ela absorve calor para evaporar (BRITO; BARRICHELO, 1979).

Em estudo sobre a influência da umidade na eficiência da queima de biomassa e resíduos Komilis *et al* (2013) demonstrou que teores de umidade acima de 40% - 50% (base úmida) tornam a utilização desses materiais inviável como combustível, e que quanto menor o teor de umidade maior a eficiência da queima.

### 3.2.3 Composição química elementar e imediata

Cortez *et al* (2008) definem a composição química elementar como a quantidade percentual de carbono (C), hidrogênio (H), enxofre (S), oxigênio (O), nitrogênio (N), umidade (U) e cinzas (A) de uma amostra. Dados importantes para cálculos de volume de ar, gases e entalpia do processo de combustão. Enquanto a composição imediata é a porcentagem de massa de carbono fixo (CF), materiais voláteis (MV) e cinzas (A) presentes no combustível. A Figura 3 demonstra a relação entre a composição química elementar e imediata de combustíveis.

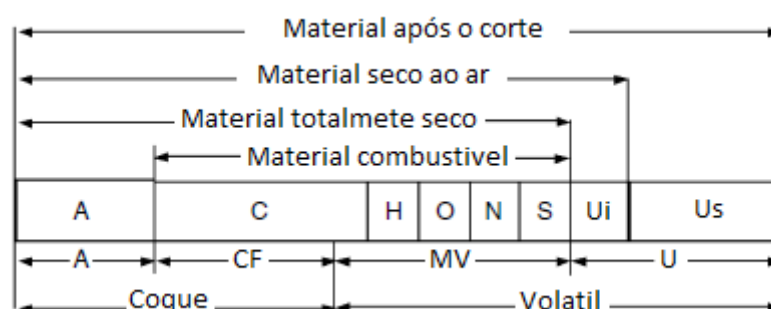


FIGURA 3 - RELAÇÃO ENTRE A COMPOSIÇÃO ELEMENTAR E IMEDIATA DE UM COMBUSTÍVEL  
 FONTE: BASU (2010)

O carbono fixo representa a fração sólida do combustível, apresentando um valor bem próximo de carbono elementar presente nesse mesmo combustível. Os materiais voláteis representam os vapores condensáveis e não condensáveis que se desprendem quando o combustível é aquecido. Os valores de materiais voláteis e carbono fixo dependem da taxa de aquecimento a que o combustível é submetido. Taxas de aquecimento mais elevadas aumentam os valores de materiais voláteis e diminuem os de carbono fixo. As cinzas são os materiais inorgânicos presentes no combustível, constituindo os resíduos sólidos após a combustão. (BASU, 2010)

### 3.2.4 Poder calorífico

O poder calorífico é definido como a quantidade de energia que é liberada na forma de calor durante a combustão completa de uma unidade de massa do combustível. Sendo afetado diretamente pelo teor de umidade do material (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008).

Segundo Basu (2010) o poder calorífico pode ser dividido de duas formas: o poder calorífico superior e o poder calorífico inferior. O poder calorífico superior considera todo o calor liberado durante o processo de combustão em pressão

constante em uma temperatura inicial de 25°C, enquanto o poder calorífico inferior é definido como o poder calorífico superior menos o calor necessário para evaporar a água formada durante o processo de combustão, e para biomassa pode ainda ser considerada a energia necessária para evaporar a umidade presente no material.

### 3.3 PELLETIZAÇÃO DA MADEIRA

O *pelletização* foi desenvolvida para a indústria de rações, a fim de reduzir o volume dos produtos e diminuir o teor de umidade do material. Esse processo consiste em secagem, refinamento, compactação, resfriamento e embalagem (SÁ, 2009). A Figura 4 apresenta o esquema para a produção de *pellets*, onde se pode destacar: 1- Pátio de armazenamento, 5 – Tambor de secagem, 13 – Pelletizadora e 15 – Armazenamento.

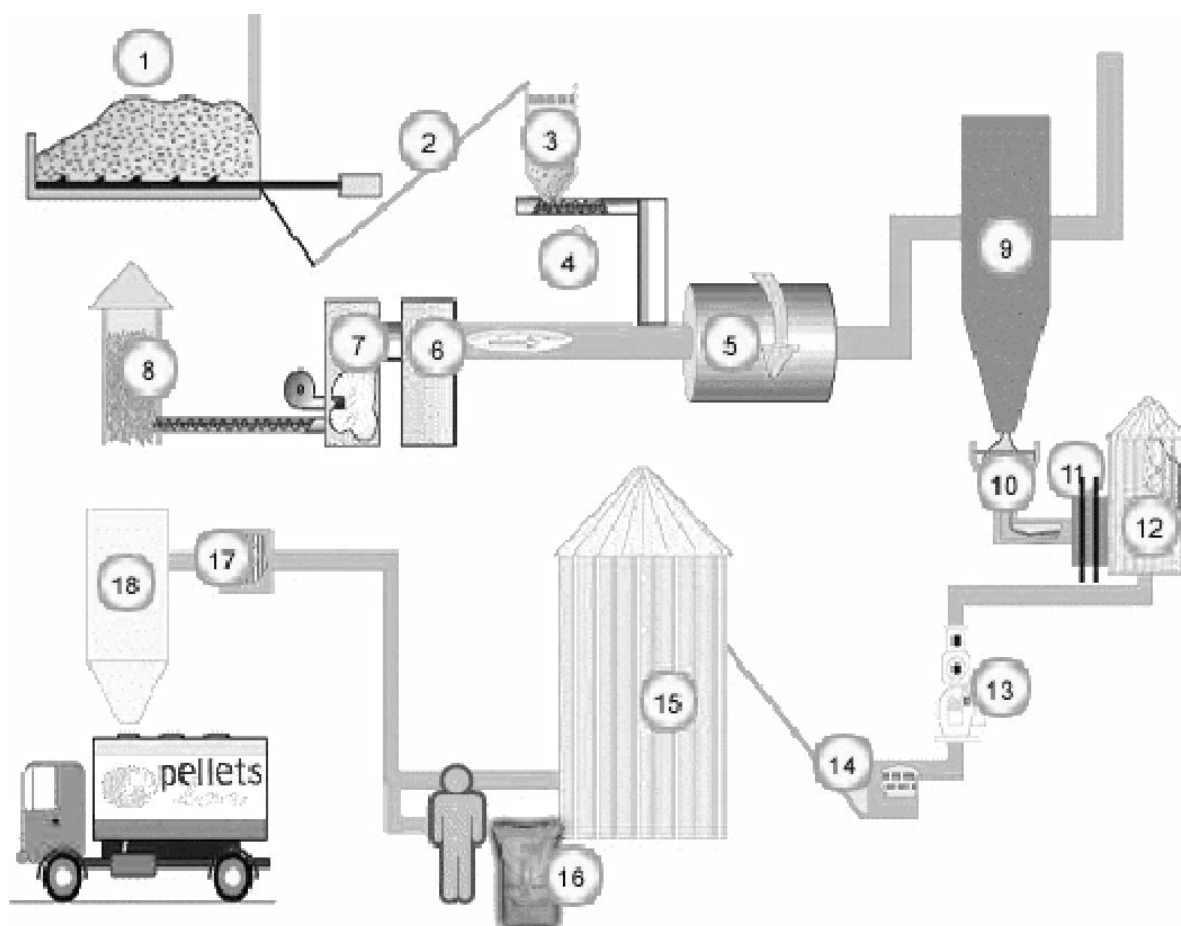


FIGURA 4 - FLUXO DA PRODUÇÃO DE PELLETS  
FONTE: SÁ (2009)

### 3.3.1 Pelletizadora

A *pelletizadora* para madeira consiste em um sistema de um molde cilíndrico (*ring die*) ou plano (*flat die*) com varias perfurações que é percorrido por rolos, Figura 5. Nos moldes cilíndricos os rolos giram em um torno de um eixo fixo e a alimentação do material é lateral aos rolos, que pressionam o material através da matriz de dentro para fora. Na matriz plana os rolos percorrem sobre a matriz horizontalmente, a alimentação de material é pela parte superior, então os rolos pressionam o material para baixo através da matriz (OBERNBERGER; THEK, 2010).

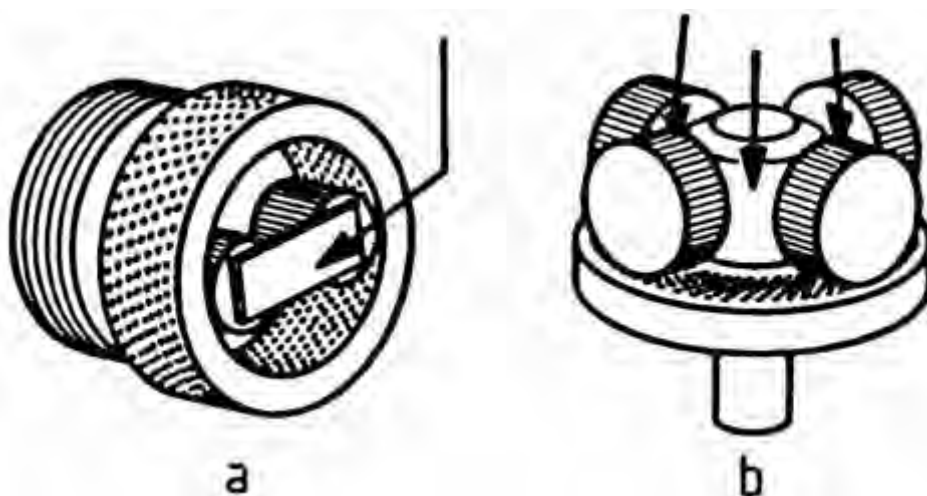


FIGURA 5 - MOLDES DE *PELLETIZAÇÃO* (A) CILÍNDRICO E (B) PLANO, COM INDICAÇÃO DO SENTIDO DE ALIMENTAÇÃO DE MATERIAL  
FONTE: OBERNBERGER (2010)

Para que haja sucesso na prensagem do material as condições importantes são: a correlação entre a matéria prima, a capacidade de compressão da máquina e o processo de compressão; a capacidade de fricção da matriz; a superfície e material da matriz e dos rolos; o comprimento e o diâmetro do furo da matriz, Figura 6; a espessura da camada de matéria prima na superfície da matriz, e do material dentro da matriz; e a frequência de compressão (HANSEN; JEIN, 2009)

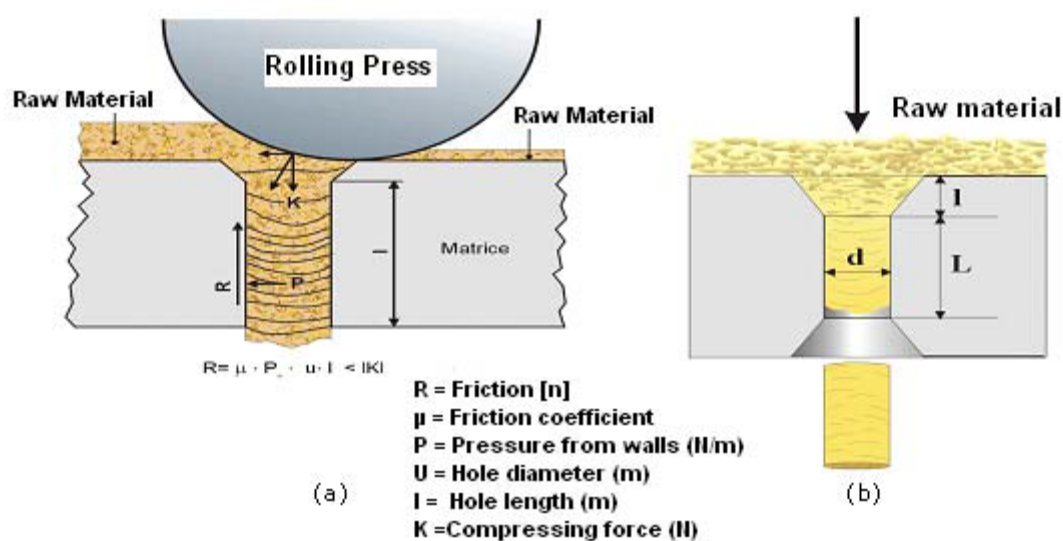


FIGURA 6 - PRINCIPIO DA PELLETIZAÇÃO  
 FONTE: HANSEN (2009)

### 3.3.2 Custo de produção

Os fatores que mais incidem sobre os custos de produção de uma indústria produtora de *pellets* são a disponibilidade de matéria-prima, a qualidade dessa matéria, as distancias de transporte, as tarifas de energia elétrica e, principalmente, a capacidade instalada da fábrica. (SANTOS; COLODETTE; QUEIROZ, 2013)

A matéria-prima o é fator que implica os maiores gastos de produção de uma indústria de *pellets*, além de apresentar ampla faixa de variação de preços, Figura 7. A secagem e pelletização são segundo e terceiro maiores custos de produção, sendo assim a escolha da biomassa a ser pelletizada responsável por 90% dos custos da empresa. (THEK; OBERNBERGER, 2004)

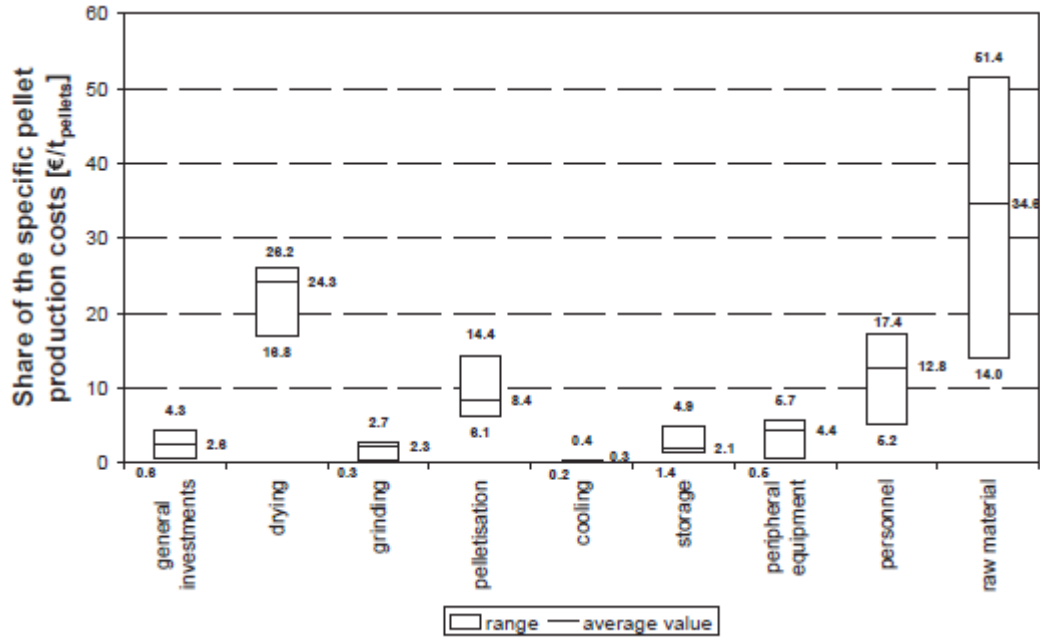


FIGURA 7 - CUSTOS DE CADA ETAPA DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE PELLETS DE MADEIRA  
 FONTE: THEK (2004)

Em estudo com biomassa torrefada realizado por Pirraglia *et al*(2013) a pelletizadora mostrou ser o equipamento com maior consumo de energia no processo, respondendo por mais de 30% do consumo de energia elétrica desse, como mostra a Figura 8

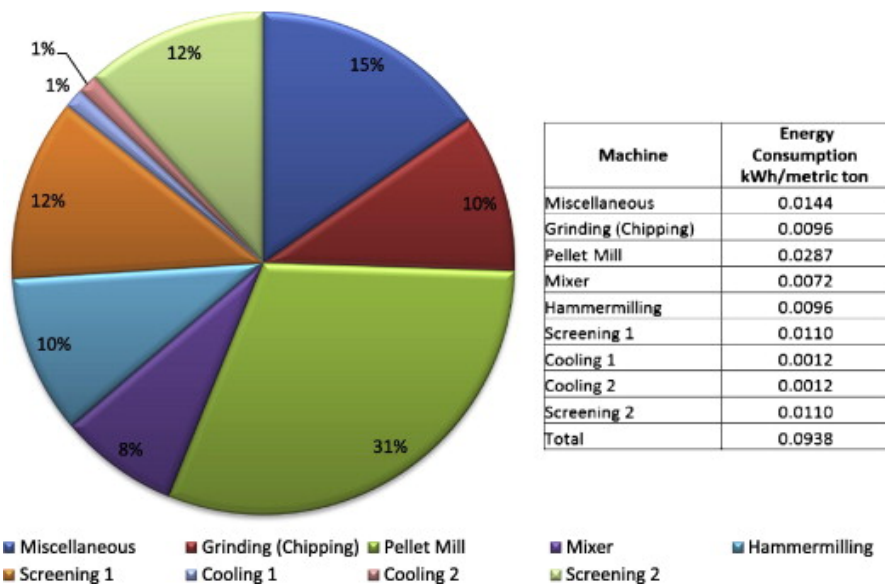


FIGURA 8 - CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELETRICA EM UMA PLANTA DE PELLETS  
 FONTE: PIRRAGLIA (2013)

### 3.3.3 Normas para *pellets*

Não existe padrão consolidado de normatização quanto ao consumo de pellets. A DINplus adotada na Alemanha se mostra com uma das normas mais rigorosas, sendo a combinação da DIN-51731 e O'Norm (SANTOS; COLODETTE; QUEIROZ, 2013). Porém, desde 2012 a EN14961-2 vem sendo adotada na Europa e Estados Unidos, sendo seguida por mais de 90% dos produtores da Alemanha e Austria (EN PLUS, 2013).

A Tabela 1 mostra um comparativo entre as normas mais utilizadas mundialmente na atualidade.

Parâmetros	Unidade	EN 14961-2			ONOR M M9735	SS 18712 0	DIN 517331	DIN plus	CTI	PFI		
		Class e A1	Classe A2	Classe B						Premium	Standard	Utility
Diâmetro D	mm	6 ou 8 3,15 a	6 ou 8 3,15 a	6 ou 8 3,15 a	4 a 10		4 a 10	4 a 10	6	5,84 a 7,25	5,84 a 7,25	5,84 a 7,25
Tamanho	mm	40	40	40	≤ 5 x D	≤ 4 x D	≤ 50	≤ 5 x D	D - 4 x D 620 a 720	640 a 737	609 a 737	609 a 737
Densidade a granel	kg/m <sup>3</sup>	≥ 600	≥ 600	≥ 600		≥ 600						
Densidade do pellet	kg/dm <sup>3</sup>				≥ 1,12		1 a 1,4	≥ 1,12				
Teor de umidade	% (bu)	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 12	≤ 10	≤ 10	≤ 8,0	≤ 10,0	≤ 10,0
Teor de cinzas	% (bs)	≤ 0,7	≤ 1,5	≤ 3,5	≤ 0,5	≤ 0,7	≤ 1,5	≤ 0,5	≤ 0,7	≤ 1,0	≤ 2,0	≤ 6,0
Poder calorífico inferior	MJ/kg (bu)	16,5 a 19	16,3 a 19	16,3 a 19	≥ 18	≥ 16,9	17,5 a 19,5	≥ 18	≥ 16,9	NA	NA	NA
Teor de enxofre	% (bs)	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,08	≤ 0,08	≤ 0,04	≤ 0,05			
Teor de Nitrogênio	% (bs)	≤ 0,30	≤ 0,50	≤ 1,0	≤ 0,30		≤ 0,30	≤ 0,3	≤ 0,30			
Teor de Cloro	% (bs)	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03
Resistencia Mecânica	% (bu)	≥ 97,5	≥ 97,5	≥ 96,5	≥ 97,7	≥ 99,2		≥ 97,7	≥ 97,5	≥ 96,5	≥ 95,0	≥ 95,0
Finos	% (bu)	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1				≤ 1,0	≤ 0,5	≤ 1,0	≤ 1,0
Aditivos	%	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2			≤ 2,0				
Arsênio	mg/kg (bs)	≤ 1	≤ 1	≤ 1			≤ 0,8					
Cádmio	mg/kg (bs)	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5			≤ 0,5					
Cromo	mg/kg (bs)	≤ 10	≤ 10	≤ 10			≤ 8					
Cobre	mg/kg (bs)	≤ 10	≤ 10	≤ 10			≤ 5					
Mercúrio	mg/kg (bs)	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1			≤ 0,5					
Níquel	mg/kg (bs)	≤ 10	≤ 10	≤ 10								
Chumbo	mg/kg (bs)	≤ 10	≤ 10	≤ 10			≤ 10					
Zinco	mg/kg (bs)	≤ 100	≤ 100	≤ 100			≤ 100					

TABELA 1 - COMPARAÇÃO DAS NORMAS PARA *PELLETS*  
 FONTE: OBERNBERGER (2010) MODIFICADO PELO AUTOR (2013)

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi dividido em duas etapas: primeiramente levantamento dos dados da empresa e método de produção, posteriormente foram analisados: a matéria prima utilizada e o produto final.

### 4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS

Foi realizada uma visita técnica à empresa no dia 13 de outubro de 2013, a fim de levantar os dados pertinentes a produção e conhecer a operação da empresa.

#### 4.1.1 A Empresa

A empresa estuda foi a Timber Creek Farms, localizada em Piên, Paraná, região da fronteira com o estado de Santa Catarina, e que apresenta um grande numero de produtores de produtos madeireiros. Originalmente a empresa era instalada no Canadá e todo o maquinário foi trazido para o Brasil.

### 4.2 ANÁLISE DO MATERIAL

Foram analisados seis materiais diferentes: três matérias primas e os *pellets* resultantes de cada uma delas. As matérias primas analisadas foram: Serragem úmida (SU), serragem seca (SS) e Mistura de serragem úmida e seca (SM), todas as matérias primas foram coletadas na entrada da linha de pelletização. Os *pellets* analisados foram: *Pellet* de serragem úmida (PSU), *pellet* de serragem seca (PSS) e *pellet* da mistura de serragens (PSM).

#### 4.2.1 Umidade

Para determinação da umidade as amostras foram pesadas úmidas (PU) conduzidas a estufa à  $103 \pm 2$  °C, até atingirem peso constante (PS), então foi determinado o teor de umidade, base úmida ( $TU_{bu}$ ), conforme Equação 1, respectivamente.

$$TU_{bu} = \frac{PU - PS}{PU} * 100 \quad \text{Equação 1 - Teor de umidade base úmida}$$

#### 4.2.2 Composição química imediata

Para determinação da composição química imediata foi seguido o que estabelece a ABNT NBR 8112/86, no qual se determinou o teor de materiais voláteis (TMV) e o teor de cinzas (TC), e o teor carbono fixo (TCF) foi calculado pela diferença da soma do TMV e TC para 100%.

A Figura 9 mostra o fluxo que o material seguiu para durante a análise química imediata (AQI), onde a amostra totalmente seca foi colocada em um cadinho e pesada (Pesagem 1 – P1), o cadinho foi tampado e seguiu para um forno mufla a 900°C, onde permaneceu durante 7 minutos com a porta fechada, nessa etapa todo há o desprendimento dos materiais voláteis, sobrando no cadinho a combinação de carbono fixo e as cinzas, o coque vegetal. O cadinho contendo o coque foi novamente pesado (Pesagem 2 - P2) e levado, dessa vez destampado, para um forno mufla, que foi aquecido até 700°C e assim se manteve durante 7 horas. Após esse período o cadinho foi novamente pesado (pesagem 3 – P3), nessa etapa restam apenas as cinzas da amostra.

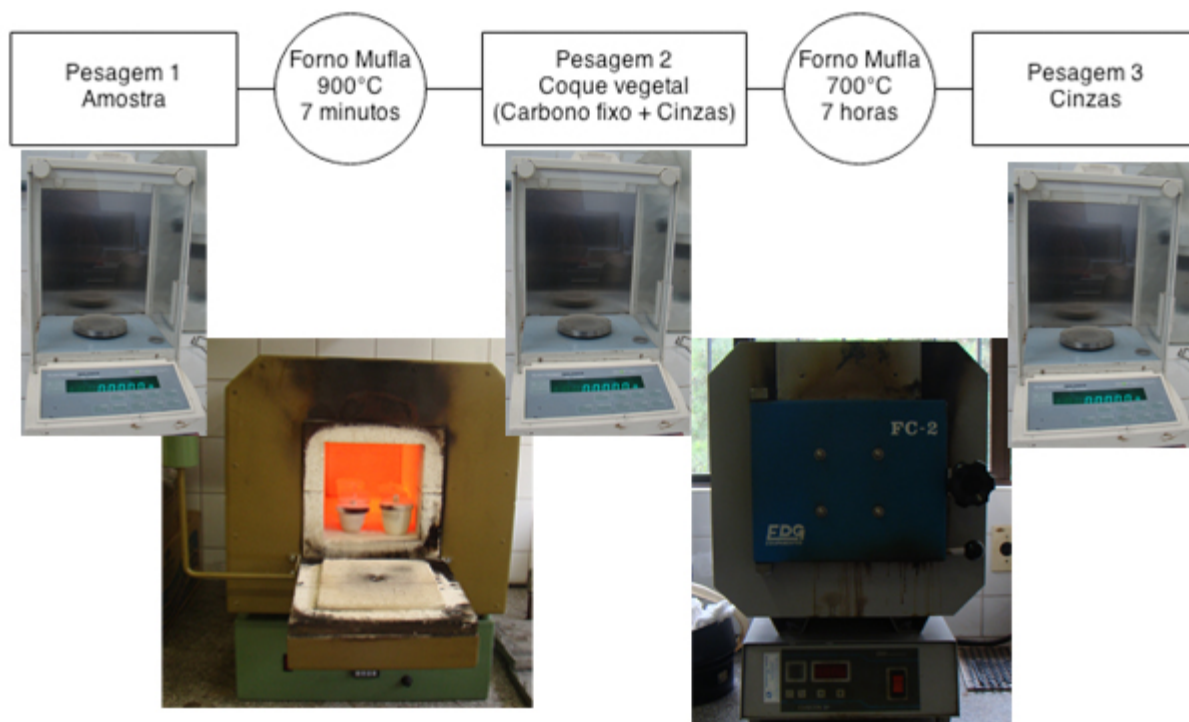


FIGURA 9 - PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA  
 FONTE: O AUTOR (2013)

Para os cálculos de TMV, TC e TCF foram utilizadas a Equação 2, Equação 3 e Equação 4, respectivamente.

$$TMV = \left( \frac{P_1 - P_2}{P_1} \right) * 100$$

Equação 2 - Teor de materiais

voláteis

$$TC = \left( \frac{P_3}{P_1} \right) * 100$$

Equação 3 - Teor de

cinzas

$$TCF = 100 - (TMV + TC)$$

Equação 4 - Teor de carbono fixo

#### 4.2.3 Poder calorífico

O poder calorífico superior foi determinado segundo ABNT NBR 8633/84, método da bomba calorimétrica, utilizando um calorímetro IKA Works C5000, FIGURA, no modo dinâmico.

O poder calorífico inferior foi calculado utilizando a Equação 5, considerando o teor de hidrogênio de 6% e umidade de cada amostra,

$$PCI = PCS - \left( \frac{9 * H}{100} + \frac{TUbu}{100} \right) * 540$$

Equação 5 - Cálculo do

PCI

#### 4.2.4 Resistência mecânica

Para resistência mecânica foi utilizado o teste de friabilidade, segundo a metodologia EN 15210-1 adaptada, utilizando 500±10 g de amostra úmida em um tambor rotativo a 50 rpm durante 10 minutos, após isso a amostra foi peneirada, utilizando uma peneira de 4 mm, e o material que passou através da peneira foi quantificado. A resistência mecânica foi calculada conforme a equação 6:

$$RM = \frac{\text{Massa de material} > 4 \text{ mm}}{\text{Massa de entrada}} * 100$$

Equação 6 – Resistência

Mecânica

#### 4.2.5 Densidade a granel

A densidade a granel (Dg) foi determinada com base na metodologia da EN 15103, porém devido à quantidade disponível para análise foi utilizado um Becker volume de 1,22 L, e então foi feita a medição da massa, como demonstrado na Figura 10, sendo feitas cinco repetições para cada amostra.



FIGURA 10 - ESQUEMA UTILIZADO PARA A DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE A GRANEL  
FONTE: O AUTOR (2013)

#### 4.2.6 Densidade energética

A densidade energética (DE) é a relação entre o volume que o material ocupa e a energia disponível nesse espaço, portando foi utilizado o produto da densidade a granel e poder calorífico inferior.

$$DE_{\square} = PCI * D_g$$

Equação 7 – Densidade

energética

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 PRODUÇÃO

A produção mensal da fábrica levou em conta o produto gerado por todas as *pelletizadoras* entre o dia 1º de cada mês e ultimo. A produção não segue estável, Figura 11, pois a demanda pelo produto no mercado nacional ainda não é estável.

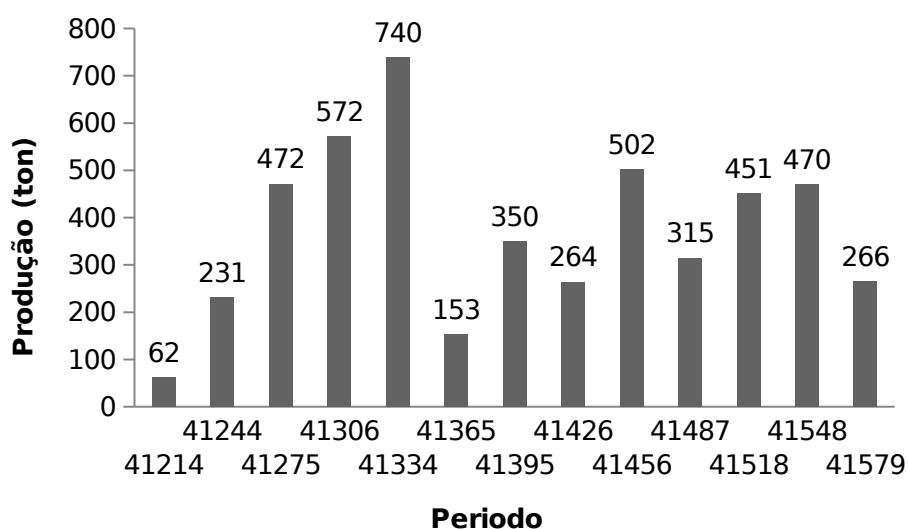


FIGURA 11 - PRODUÇÃO DA EMPRESA NO PERÍODO ENTRE NOVEMBRO DE 2012 E NOVEMBRO DE 2013  
 FONTE: O AUTOR (2013)

O consumo energético considerou o período entre as medições do consumo de energia elétrica da COPEL, realizadas próximo ao dia 15 de cada mês, e a produção referente ao mesmo período. Não houve correlação entre a energia gasta e a quantidade total produzida, como observado na Figura 12, possivelmente devido à utilização diferenciada das *pelletizadoras*, e do tambor de secagem, que devem ser avaliados individualmente para um controle de custos da produção. Devido ao alto consumo de energia desses equipamentos os inícios e paradas de cada um representam alterações na demanda de energia. Além da influência do tipo de material utilizado, assim como o teor de umidade que esse apresenta.

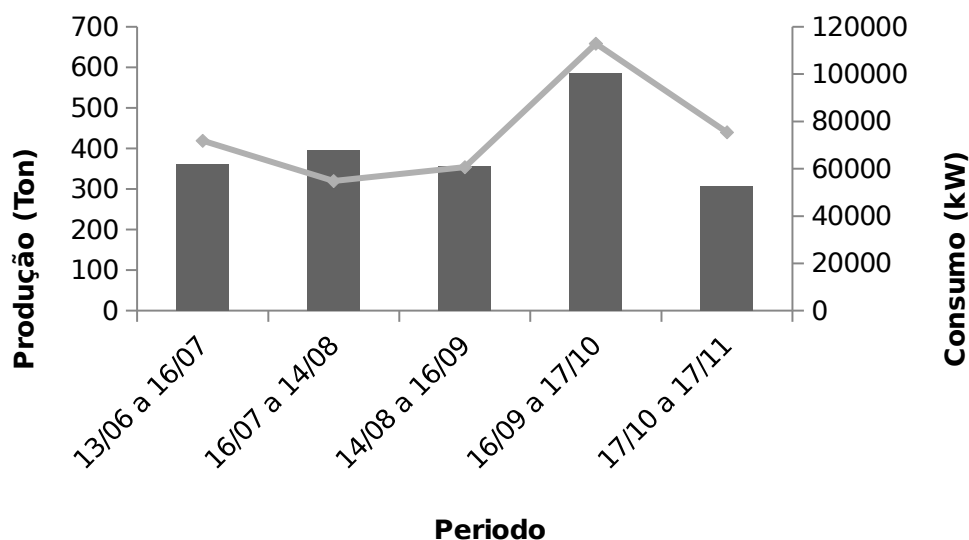


FIGURA 12 - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E PRODUÇÃO NO MESMO PERÍODO  
 FONTE: O AUTOR (2013)

## 5.2 ANÁLISE DO MATERIAL

A análise química imediata e o poder calorífico superior do material não demonstraram ter diferenças significativas entre as diferentes matérias e *pellets*, devido ao fato de todos os materiais serem da mesma espécie, os resultados médios são apresentados na Tabela 2:

TABELA 2 - RESULTADOS MÉDIOS DA ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA E PCS

	TMV (%)	Cinzas (%)	CF (%)	PCS (kcal/kg)	RM (%)
Média	81,11 ± 1,129	0,51 ± 0,115	18,38 ± 1,077	4690,40 ± 96,278	99,56 ± 0,106
C. Variação (%)	1,39	22,30	5,86	2,05	0,1

FONTE: O AUTOR (2013)

Os resultados de teor de umidade, PCI, densidade a granel e densidade energética são apresentados na Tabela 3. Todos os materiais analisados apresentaram diferenças significativas para o teor de umidade, o que fez com que os valores de PCI também fossem significativamente diferentes, porém se diferenciaram apenas os *pellets* das serragens, pois essas apresentaram maior teor de umidade fazendo com que o PCI fosse menor em relação aos *pellets*. Os pellets feitos com a serragem seca apresentaram a maior densidade energética, em consequência da maior densidade a granel dos mesmos que também foi superior a

todos os outros materiais. Ao contrario da matéria prima de origem que foi aquela que apresentou a menor densidade energética, possivelmente isso está ligado ao fato do teor de umidade da matéria prima, pois os equipamentos utilizados são dimensionados para *pelletização* com teor de umidade de 12%, e a SS apresentou teor de umidade muito próximo a esse, fazendo com que o processo ocorresse de forma mais satisfatória.

Amostra	TU bu (%)	PCI (%)	Dg (kg/m <sup>3</sup> )	DE (Mcal/m <sup>3</sup> )
PSS	7,04 f	4416,57 a	710,8 a	31394,8 A
PSM	7,51 e	4351,25 a	669,8 b	29582,2 B
PSU	8,94 d	4477,14 a	656,5 c	29392,4 B
SM	11,00 c	4264,00 b	238,3 d	10159,9 C
SU	14,80 a	4277,88 b	198,7 e	8499,5 D
SS	11,56 b	4277,37 b	181,0 f	7741,6 D

TABELA 3 - TEOR DE UMIDADE, PCI, DENSIDADE A GRANEL E DENSIDADE ENERGÉTICA  
 FONTE: O AUTOR (2013)

Nas Figura 13 e Figura 14 é possível observar o incremento na densidade a granel do material, conseqüentemente na densidade energética. Os PSS tiveram um incremento de 4,06 vezes na densidade energética, quando comparados com a matéria prima; enquanto os PSU e PSM tiveram 3,46 e 2,91, respectivamente. Valores bem próximos aos para o aumento da densidade a granel que foram de 3,93; 2,30 e 3,30; na mesma ordem anterior.

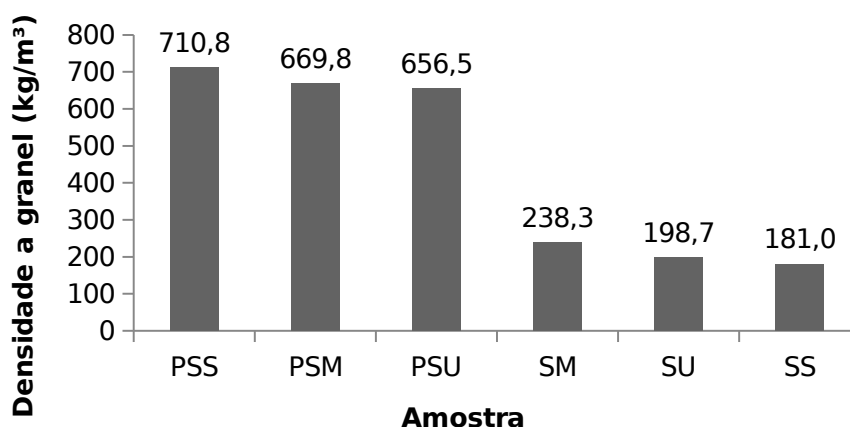


FIGURA 13 - DENSIDADE A GRANEL  
 FONTE: O AUTOR (2013)

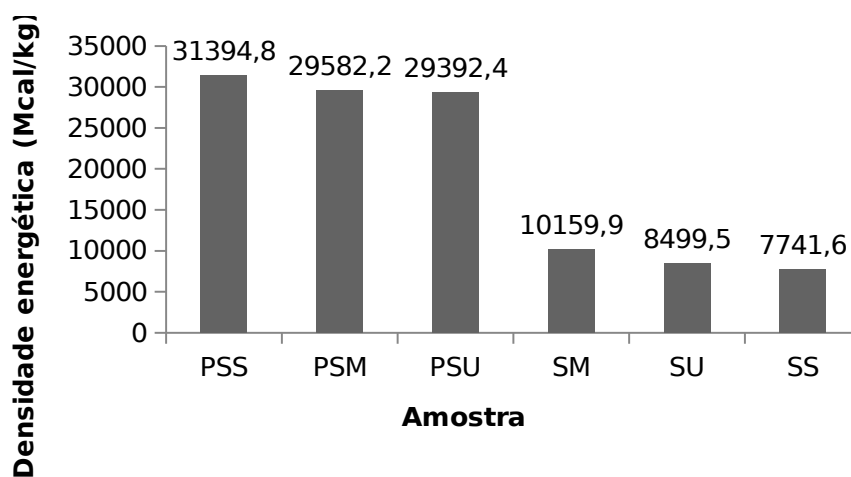


FIGURA 14 - DENSIDADE ENERGÉTICA  
FONTE: O AUTOR (2013)

Para resistência mecânica não houve diferença significativa, sendo a média dos *pellets* de 99,56 %  $\pm$  0,106. Mostrando que a resistência dos *pellets* é bem alta, sendo assim gerando poucos finos quando manipulados.

## 6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Não foi possível achar uma relação entre a produção e o consumo de energia da empresa, para isso devem ser realizados novos estudos utilizando a produção individual de cada uma das *pelletizadoras* e do tambor de secagem.

Os *pellets* produzidos com a serragem seca (PSS) foram os que apresentaram melhor desempenho energético, com menor teor de umidade e maior densidade energética.

Os *pellets* produzidos ainda não apresentam todas as características para que se enquadrem dentro da maior parte das normas atuais, ficando fora dos padrões de poder calorífico inferior, EN 14961-2 e DIN 517331, ou teor de cinzas, ONORM M9735 e DIN Plus.

A grande vantagem na utilização de *pellets* está na redução do volume e teor de umidade, quando comparada com a biomassa *in natura*, que fazem com que o pellet apresente valores para densidade energética muito superiores, facilitando a logística e armazenamento.

## 7 REFERÊNCIAS

BASU, P. **Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory**. Oxford: Elsevier Ltd, 2010.

BRITO, J.; BARRICHELO, L. Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia. 1979.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. [s.l.] UNICAMP, 2008. p. 736

EN PLUS. **Find ENplus certified pellet producers and traders**. Disponível em: <<http://www.enplus-pellets.eu/>>. Acesso em: 9 dez. 2013.

ENCY, I. KEY WORLD ENERGY STATISTICS. **ar.newsmth.net**, 2013.

HANSEN, M. T.; JEIN, A. R. **English Handbook for Wood Pellet Combustion**. [s.l.] HANSEN, M. T. et al. English handbook for wood pellet combustion. National Energy Foucation, Intelligent Energy Europe, 2009. p. 1–86

KOMILIS, D.; KISSAS, K.; SYMEONIDIS, A. Effect of organic matter and moisture on the calorific value of solid wastes: An update of the Tanner diagram. **Waste management (New York, N.Y.)**, 14 out. 2013.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**, 2012.

OBERNBERGER, I.; THEK, G. **The pellet handbook**. [s.l.] Earthscan Ltd, 2010. p. 549

PIRRAGLIA, A. et al. Technical and economic assessment for the production of torrefied ligno-cellulosic biomass pellets in the US. **Energy Conversion and Management**, v. 66, p. 153–164, fev. 2013.

ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. **Uso da biomassa para produção de energia na indústria Brasileira**. [s.l.] UNICAMP, 2005. p. 448

SÁ, A. Caracterização da recolha de matéria-prima para a produção de pellets. p. 91, 2009.

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. DE. **Bioenergia e Biorrefinaria - Cana-de-açúcar & Espécies Florestais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2013. p. 551

THEK, G.; OBERNBERGER, I. Wood pellet production costs under Austrian and in comparison to Swedish framework conditions. **Biomass and Bioenergy**, v. 27, n. 6, p. 671–693, dez. 2004.