

FERNANDA BARBOSA FERREIRA

***PELLETS* COMPOSTOS POR RESÍDUOS DA TORREFAÇÃO DO  
CAFÉ (*Coffea arabica L.*) E MADEIRA DE PINUS**

Monografia a ser defendida no  
Departamento de Engenharia Florestal  
da Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do Curso de  
Engenharia Florestal.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
JUNHO - 2015

FERNANDA BARBOSA FERREIRA

**PELLETS COMPOSTOS POR RESÍDUOS DA TORREFAÇÃO DO  
CAFÉ (*Coffea arabica L.*) E MADEIRA DE PINUS**

Monografia a ser defendida no  
Departamento de Engenharia Florestal  
da Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do Curso de  
Engenharia Florestal.

APROVADA: 09 de junho de 2015.

---

Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho

---

Benedito Rocha Vital

---

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro  
(Orientadora)

## **AGRADECIMENTO**

A Deus que me deu força e saúde para que eu chegasse onde estou.

Agradeço e dedico essa conquista aos meus avós que com toda a experiência de vida souberam me dar muita força e determinação para conquistar os meus sonhos.

Aos meus pais, Álvaro e Márcia pela boa educação e por me mostrarem o caminho digno de alcançar meus objetivos e pelo apoio incondicional. Ao meu pai que durante seus 5 anos de graduação mostrou que a Eng. Florestal era um bom caminho a ser seguido, sendo minha inspiração para realizar este curso.

Ao meu irmão, Vinícius por estar sempre ao meu lado torcendo por mim. Aos meus tios e tias, em especial Padrinho, tia Eliana e tia Sônia. Aos meus primos e afilhados.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF) pelo aprendizado acadêmico, profissional e de vida.

Ao Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) pela estrutura para a realização deste trabalho.

À Professora Angélica de Cassia Oliveira Carneiro pela oportunidade de estágio concedida, pelo aprendizado, oportunidades e amizade. Sem dúvida a melhor orientadora.

Ao Mateus Magalhães, Carlos Miguel, Nívea Soares e Laíssa Carvalho por todo

apoio, ajuda e companheirismo para que o trabalho fosse realizado. A todos os professores, funcionários e estagiários do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) pela amizade e ajuda.

À Floresta 2009 e aos meus “eternos calouros” pelo convívio durante esses anos. Aos amigos de Ouro Preto, Muriaé e Viçosa. Obrigada pela amizade, carinho, compreensão e força.

Aos membros da banca de defesa: Prof. Benedito e Prof. Ana Márcia.

A SIF pela parceria e apoio.

A empresa 3 Corações pela doação dos materiais.

## **BIOGRAFIA**

Fernanda Barbosa Ferreira, filha do Sr. Álvaro Magela Ferreira e da Sra. Márcia Regina Barbosa Ferreira, nasceu no dia 30 de maio de 1990 na cidade de Viçosa, MG.

Cursou o pré-escolar no Centro Educacional Pequeno Príncipe e o ensino fundamental e médio na Escola Estadual Effie Rolfs na cidade de Viçosa.

Seu pai voltou a estudar no ano de 2005 na Universidade Federal de Viçosa, cursando Engenharia Florestal e isto lhe serviu de incentivo a ingressar no mesmo curso e na mesma Universidade em 2009.

Durante a graduação realizou trabalhos no Laboratório de Hidrologia Florestal, no Apiário, na Clonar, na Prefeitura Municipal de Viçosa (Departamento de Meio Ambiente), na Votorantim Metais, ArcelorMittal BioFlorestas e por fim ingressou no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira, onde adquiriu conhecimentos e capacidade para desenvolver a monografia de conclusão de curso.

## SUMÁRIO

EXTRATO .....	vii
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVOS .....	3
2.1 Objetivo Geral .....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
3.1 Biomassa como fonte de energia .....	4
3.2 Café ( <i>Coffea arábica L.</i> ) .....	5
3.3 Madeira de Pinus .....	7
3.4 Produção de <i>Pellets</i> .....	8
3.5 Mercado de <i>Pellets</i> .....	9
4 MATERIAIS E MÉTODOS .....	10
4.1 Obtenção da matéria-prima .....	10
4.2 Caracterização das Biomassas .....	11
4.3 Produção dos <i>Pellets</i> .....	11
4.4 Propriedades dos <i>Pellets</i> .....	13

4.5	Classificação dos <i>Pellets</i> de acordo com as Normas de qualidade .....	14
4.6	Delineamento experimental .....	16
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	17
5.1.	Caracterização da biomassa <i>in natura</i> .....	17
5.2.	Aspectos Visuais do <i>Pellets</i> .....	19
5.3.	Propriedades dos <i>pellets</i> .....	20
5.3.4	Classificação dos <i>pellets</i> de acordo com as normas de qualidade .....	23
6	CONCLUSÕES .....	26
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	27

## EXTRATO

FERREIRA, Fernanda Barbosa. Monografia de graduação. Universidade Federal de Viçosa, Junho de 2015. **PELLETS COMPOSTOS POR RESÍDUOS DA TORREFAÇÃO DO CAFÉ (*Coffea arabica* L.) E MADEIRA DE PINUS.** Orientadora: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro. Coorientadores: Matheus Alves de Magalhães e Carlos Miguel Simões da Silva.

Devido à grande disponibilidade de diversas biomassas e resíduos florestais e agrícolas no Brasil a produção de energia pela queima dessas biomassas é a opção mais viável. A madeira de pinus e resíduos gerados a partir da torrefação do café destacam-se devido à grande produção no país. Porém a biomassa residual tem baixa densidade, alta umidade e é heterogênea, dificultando seu uso direto como combustível sólido. A peletização é a mais recente técnica utilizada no Brasil para compactar essa biomassa, gerando um material granulado denominado de *pellet*, de alta densidade energética. Com isso este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial das biomassas compostas por resíduos da torrefação do café (*Coffea arabica* L.) e madeira de Pinus para a produção de *pellets*. Foram produzidos *pellets* a partir de biomassas na madeira de pinus e de resíduos da torrefação do café em umidade pré-determinada em diferentes proporções,



posteriormente, foram determinadas suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Os resultados foram comparados com as normas europeias de comercialização. Observou-se que o resíduo do café contém um elevado teor de cinzas, o que pode ocasionar o aumento da corrosão de equipamentos de queima e redução do valor de mercado, além do menor poder calorífico em relação aos outros tratamentos. Nenhum tratamento atendeu a norma Europeia na sua totalidade. No entanto, todos os tratamentos proporcionaram a produção de *pellets* com propriedades físicas, químicas e mecânicas que permitem o seu uso, no mercado nacional, tanto para consumo residencial quanto industrial.

## 1 INTRODUÇÃO

A política energética mundial busca diminuir a emissão dos gases intensificadores do efeito estufa e minimizar a dependência dos combustíveis fósseis, para isso tem-se a valorização dos recursos energéticos provenientes de matriz renovável. Uma das alternativas para a substituição desses combustíveis fósseis é a biomassa para a produção de calor e energia elétrica por possui baixo custo quando comparadas a outras.

O Brasil é um dos maiores produtores agrícolas e florestais do mundo, logo há também uma grande geração de resíduos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos obriga a dar uma destinação adequada a esses resíduos, sendo assim, a produção de energia pela queima direta torna-se uma opção viável. As buscas por novas fontes de biomassa para geração de energia têm proporcionado diferentes estudos dos resíduos industriais, urbanos, culturas e resíduos agrícolas e espécies florestais.

Como resíduo agrícola pode-se destacar os resíduos gerados após a torrefação do grão do café, pois segundo a Conab (2015), o Brasil é o maior produtor mundial de café e em 2014 teve uma produção estimada em torno de 45 milhões de sacas. Ao longo da cadeia de produção de café é gerado diversos subprodutos e resíduos (WOICIECHOWSKI et al.,2000). Conseqüentemente, no Brasil milhões de toneladas de

resíduos são gerados anualmente a partir do beneficiamento e torrefação do café. Muitas vezes o descarte desse material é realizado de forma irracional, sendo assim, em busca de qualidade da produção, uma utilização adequada para estes resíduos e consequente redução nos custos tem contribuído para a realização de estudos, afim de verificar a disponibilidade de melhor utilização destes resíduos.

No entanto, ressalta-se que a biomassa residual, no geral, tem baixa densidade, alta umidade e é heterogênea, o que dificulta seu uso direto como combustível sólido. Por isso é essencial transformar a biomassa num recurso de fácil utilização para assim se tornar um combustível viável. A compactação da biomassa é de suma importância para a obtenção de um produto final de fácil manuseio, transporte, armazenamento e utilização.

Os *pellets* são combustíveis sólidos granulados, de formato regular, que são produzidos a partir da compactação de materiais lignocelulósicos (biomassa), com o objetivo de reduzir seu volume, baratear o transporte, facilitar o uso final e aumentar a quantidade de energia por unidade de volume. Podem ser feitos a partir de partículas de madeira roliça, de resíduos da indústria madeireira e de resíduos de culturas agrícolas. Sua densidade deve ser elevada e uma baixa umidade para permitir uma alta concentração de energia num pequeno volume (OBERNBERGER e THEK, 2010).

A madeira é a matéria-prima mais utilizada para a produção dos *pellets* no Brasil, porém devido ao custo elevado para utilização desse material e a grande geração de resíduos agrícolas nas indústrias, o resíduo gerado após a torrefação do café surge como alternativa para viabilizar o uso destas biomassas como fonte energética, dar um destino aos resíduos gerados e minimizar os custos de transporte.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial das biomassas compostas por resíduos da torrefação do café (*Coffea arábica L.*) e madeira de Pinus para a produção de *pellets*.

### 2.2 Objetivos específicos

- Obter o potencial energético da madeira de Pinus e do resíduo da torrefação do café;
- Produzir e avaliar *pellets* produzidos em diferentes proporções de resíduo da torrefação do café à composição das partículas de Pinus para produção de *pellets*;
- Classificar os *pellets* produzidos de cada tratamento de acordo com as normas europeias de comercialização.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Biomassa como fonte de energia**

Todo recurso renovável, proveniente do material orgânico (vegetal ou animal) que possa ser utilizado para a produção de energia é considerado biomassa, sob o ponto de vista energético. Está crescente o uso da biomassa na geração de eletricidade, com isso ocorre redução no consumo de combustíveis fósseis, principalmente o petróleo e seus derivados que são fontes não renováveis. A biomassa pode ser desde resíduos agrícolas, industriais e urbanos até culturas plantadas (MMA, 2014).

A matriz de balanço energético expressa o balanço das etapas do processo energético, sendo elas produção, transformação e consumo. No Brasil destaca-se a geração hidráulica (64,9% da oferta interna) como matriz elétrica de origem predominantemente renovável. No ano de 2013 a oferta interna de energia no Brasil foi composta por 39,3% de petróleo e derivados, gás natural com 12,8%, urânio com 1,3% e

carvão mineral com 5,6%. As fontes não renováveis então perfizeram um total de 59,10%. (BEN, 2013).

O modelo energético brasileiro que antes era sustentado pela energia hidrelétrica e pelos combustíveis derivados do petróleo vem se modificando ao longo dos anos, com a participação de resíduos para geração de energia. É considerado resíduo toda matéria que sobra de um processo de produção ou exploração, de transformação ou utilização e que assim possui valor econômico agregado, possibilitando seu reaproveitamento. Eles podem ser: urbanos, industriais, tóxicos, vegetais, agrícolas, florestais, entre outros (PAULA, 2010).

### 3.2 Café (*Coffea arabica* L.)

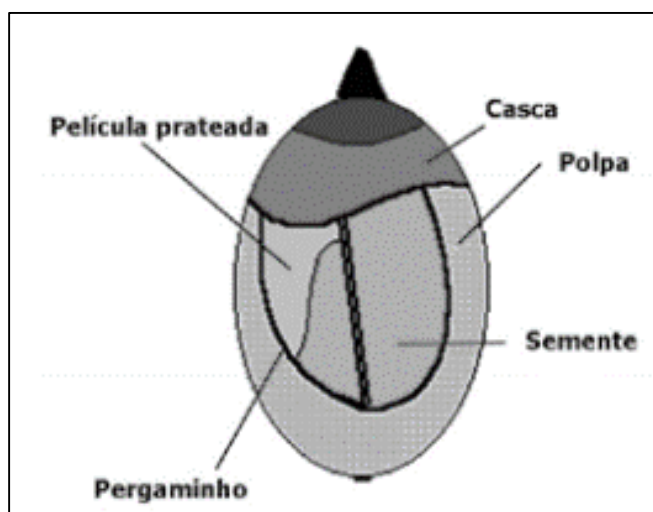
O café é a segunda maior commodity negociada no mundo, sendo assim sua indústria é responsável pela geração de grande quantidade de resíduos (NABAIS et al., 2008). A produção do café é de extrema importância socioeconômica para o Brasil, uma vez que ela está à frente no mercado internacional de café, sendo o maior produtor do mundo. A produção se concentra em Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Paraná e Espírito Santo (DONZELES et al., 2011).

Para melhor qualidade do café deve-se estar atento aos cuidados e tecnologias durante as etapas de pré-processamento, processamento e armazenamento. Colheita, preparo, beneficiamento, secagem e armazenamento dos grãos (DONZELES et al., 2011).

Existem dois métodos básicos para o beneficiamento do café que dão origem a resíduos diferentes: beneficiamento via úmida e via seca. Por via seca os frutos são secos inteiramente e como resíduo é obtido a casca juntamente com o *pergaminho*, película prateada e a polpa, sendo chamado apenas de polpa e constitui cerca de 50% do fruto seco colhido. (BARTHOLO et al., 1989). Segundo Donzeles et al., 2011, quando o café é processado por via úmida, ocorre a lavagem do café e posterior despulpamento, neste processo acontece a separação dos grãos constituídos pelo endosperma, *pergaminho* e mucilagem. A mucilagem aderida ao *pergaminho* é retirada em desmucilador ou em tanque de fermentação, gerando o resíduo que recebe o nome de polpa. Posteriormente o grão é colocado para secar junto com o *pergaminho* e película prateada (BRUM, 2008). Em seguida o grão do café é beneficiado de se separa do *pergaminho*, posterior ocorre a

torrefação separando o grão da película prateada e da munha, durante esse processo o grão é submetido a uma temperatura entre 180°C e 230°C durante certo intervalo de tempo (SEITER e HORWATH, 2004).

De acordo com Brum (2007), a cada safra a quantidade de café beneficiado é igual à quantidade de resíduos gerados pelo seu beneficiamento. Os resíduos sólidos gerados ao final de toda cadeia produtiva do café são: casca, polpa, semente, *pergaminho*, película prateada e borra de café (figura 1).



Fonte: Adaptado de Silva et. al, (2013).

**Figura 1** – Estrutura simplificada do fruto de café

O *pergaminho* é uma película anatômica que envolve o grão, sendo chamado também de endocarpo, ele é uma proteção ao grão de café. Segundo o Instituto Brasileiro do Café – IBC (1977) é importante que ocorra a degomagem para que se retire a mucilagem do *pergaminho*, pois a presença desta, favorece a proliferação de fungos.

O endosperma, que é comumente chamado de película prateada é eliminado quando o grão entra em processo de torra (HERMOSA, 2014).

Devido a estrutura e composição química destes resíduos gerados após a torrefação do café através da via úmida, ainda há poucos estudos sobre seu uso, apresentando poucas alternativas para seu aproveitamento. Porém, devido ao teor de lignina (comparáveis aos de madeira) estes resíduos têm grande potencial para fabricação de *pellets*.

### 3.3 Madeira de Pinus

Segundo dados do IBÁ (2014) a área plantada com árvores no Brasil atingiu 7,60 milhões de hectares em 2013, as árvores de pinus, representam 20,7% desse valor. O consumo brasileiro de madeira in natura de pinus para uso industrial por segmento e gênero em 2013 foi de 40.749.376 m<sup>3</sup>, sendo estes destinados a indústrias de celulose e papel, painéis de madeira, lenha industrial e serrados e outros produtos sólidos.

A madeira de pinus é rica em resinas naturais (BRITO et al., 2008), o que lhe confere alto poder calorífico. Possui também alto teor de lignina e sílica em sua composição. Assim não requer a adição de ligantes naturais como amido de milho ou a adição da própria lignina para atuar como aglutinante na compactação de biomassa para a produção de *pellets*.

A maior concentração de plantio de pinus se concentra nas regiões sul e sudeste, cerca de 98 % do total de plantio no país no ano de 2013 (IBÁ, 2014), onde também se concentram as indústrias produtoras de *pellets*. Sendo assim é gerado um grande volume de resíduos desta madeira sem utilização, fazendo dela um potencial material para o uso energético, em 2001 a quantidade gerada foi aproximadamente 80 mil toneladas/mês para uma região com 283 indústrias de transformação primária, secundária e terciária (REMADE, 2004).

Os *pellets* de madeira são produzidos, geralmente, a partir de resíduos da indústria madeireira, como serragem, maravalhas, aparas, cavacos e resíduos de colheita (Oberberger; Thek, 2010). Eles são mais comuns no mercado internacional de biomassa. Sua produção mundial tem mostrado um crescimento exponencial: 2 milhões de toneladas de *pellets* madeira em 2001, duplicando em 2006 e atingindo 15 milhões em 2010. Ao longo dos anos, aumentou a capacidade de produção média e investimentos de capital em fábricas de *pellets* de madeira (WWWRGROUP, 2012).

Segundo a ABIPEL (2013) no Brasil, os *pellets* de madeira têm custo de produção entre R\$ 290 e R\$ 380 e são vendidos por preços que variam entre R\$390 a R\$ 650, mesmo estando acima dos preços na Europa, ainda pode ser equiparado e está equilibrado, podendo ter um futuro promissor com investimentos.



### 3.4 Produção de *Pellets*

Segundo Garcia (2012), a maior parte das indústrias brasileiras de produção de *pellets* se concentram próximas as grandes áreas de reflorestamento e fatura de resíduos que podem ser aproveitados no processo de compactação, localizadas na região centro-sul do país. A madeira é a mais utilizada para a produção dos *pellets* no Brasil, mas vem crescendo o uso do capim-elefante e de resíduos provenientes do bagaço de cana em usinas de álcool e açúcar. A produção de *pellets* a partir de resíduos gerados após torrefação do café, até o momento é mínima ou inexistente, mas alguns estudos sobre o seu potencial energético para essa finalidade já vêm sendo feitos, principalmente para a produção de briquetes, já os *pellets* produzidos a partir de madeira de pinus já estão consolidados no mercado, no entanto o custo da madeira é elevado.

Segundo Stelte et al., (2012) o processo de produção dos *pellets* compreende a secagem e moagem da matéria-prima, sua peletização, resfriamento e peneiramento. Durante o processo, a matéria-prima é pressionada por roletes, através de canais de compressão cilíndricos e é convertida em um material aglomerado devido ao amolecimento térmico da lignina que promove a aglutinação das partículas. Vários fatores interferem na qualidade e dificuldade na produção dos *pellets*, como a utilização ou não de vaporização e pré-aquecimento das partículas e os fatores relacionados à peletizadora, como pressão, velocidade dos roletes, dimensões dos canais de compressão, distância entre os roletes e a matriz de compressão (LAI et al., 2013; LEE et al., 2013; TUMULURU, 2014). Vale ressaltar que

Para a produção de *pellets* a biomassa deve ser triturada (formando cavacos) e seca (para diminuição da umidade) até teor de umidade abaixo de 15% e no mínimo 8%. Deve-se moer os cavacos e por fim prensa-los em peletizadoras. Segundo Silva (2007), o processo de compactação da biomassa pode reduzir em torno de cinco vezes seu volume, promovendo um aumento considerável na densidade do produto final, agregando-o maior valor.

A temperatura ótima para compactação está próxima de 100°C, neste ponto a lignina plastifica, atuando assim como aglutinante natural entre as partículas. A pressão de compactação varia de acordo com a prensa peletizadora, prensas com maior pressão

consomem mais energia. Assim, a pressão de compactação e a temperatura durante o processo de peletização devem ser suficientes para que haja boa compactação da biomassa e os *pellets* produzidos atendam às exigências do mercado (SILVA, 2007).

### 3.5 Mercado de *Pellets*

De acordo com os dados do IEA Bioenergy (2011), a primeira utilização de *pellets* como combustível foi no início de 1980. A partir de 1990 esse mercado tem demonstrado um rápido crescimento. Alemanha, Suécia, Estados Unidos, Holanda, Itália e Dinamarca são os maiores consumidores e a produção se destaca nos Estados Unidos, Suécia, Alemanha, Rússia e Canadá. Entre os anos de 2008 e 2009 o consumo mundial esteve entre 11 e 12 milhões de toneladas (65% aplicados em um sistema de pequena escala e 35% foram empregados em sistemas de média a grande escala para geração de energia). A Europa destacou-se como o maior produtor de *pellets* em 2010, com 65% da produção e depois a América do Norte com 23%. Estima-se que até 2020 a produção esteja entre 130 e 170 milhões de toneladas por ano em todo o mundo.

Segundo Carvalho et al., (2013) para a instalação de uma usina de peletização deve-se observar a disponibilidade de matéria-prima, a qualidade do material, distância do transporte, tarifa de energia elétrica e a capacidade da fábrica. Os *pellets* possuem propriedades que podem variar e que são determinantes em sua qualidade, viabilizando o processo produtivo.

No Brasil as empresas produtoras de *pellets* estão concentradas nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Minas Gerais, onde se encontra a maior disponibilidade de matéria prima. Os últimos resultados apresentados apontam que em 2012, o país possuía 12 plantas industriais em operação e duas estavam para iniciar suas atividades nos próximos 2 anos. A capacidade produtiva dessas empresas era de aproximadamente 237.000 t/ano, e em 2012 atingiam apenas 25% dessa capacidade. Por questões tecnológicas como a baixa eficiência dos equipamentos utilizados e o alto custo da produção devido ao alto custo da matéria-prima e dos transportes, dificulta o mercado interno dos *pellets*. (ABIPEL, 2013).

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Obtenção da matéria-prima**

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), pertencente ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais.

Utilizou-se resíduo da torrefação do café, após beneficiamento via úmida doados pela empresa Três Corações e madeira de Pinus, proveniente de um plantio no Campus da UFV, pertencente ao Departamento de Zootecnia, Viçosa, Minas Gerais. A madeira de Pinus foi seca até 16% de umidade, em base seca, para posterior trituração em moinho martelo e classificação em peneira com abertura de 2 mm de diâmetro.

Depois, as partículas das duas biomassas foram secas em estufa com circulação forçada de ar e temperatura à  $\pm 103^{\circ}\text{C}$ , até atingir a umidade em torno de  $12 \pm 0,5\%$ , de acordo com testes preliminares.

## 4.2 Caracterização das Biomassas

O teor de umidade, em base seca das partículas utilizadas para a produção dos *pellets* foi determinado por meio da diferença de massa antes e após a secagem a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até massa constante em estufa de acordo a norma NBR 7993 (ABNT, 1983).

A densidade a granel ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) da biomassa foi obtida de acordo com a norma EN 15103 (DIN, 2010).

Os métodos empregados para análise química imediata foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR 8112 (1983), para as determinações de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo, em base seca.

O poder calorífico superior da biomassa foi determinado de acordo com a norma ABNT NBR 8633 (1983), utilizando uma bomba calorimétrica adiabática. Posteriormente foi calculado pela Equação 1 o poder calorífico útil em MJ/kcal, o qual considera a energia gasta para evaporar a água presente na biomassa.

$$\text{PCU} = \{[\text{PCS} - 600 \cdot (9\text{H}/100)] \cdot (1 - \text{U})\} - (600 \cdot \text{U}) \quad (1)$$

Onde:

PCU = poder calorífico útil (kcal/kg);

PCS = poder calorífico superior (kcal/kg);

H = hidrogênio contido na biomassa (%);

U = umidade em base seca (%).

A densidade energética ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ ) foi obtida através da multiplicação do poder calorífico útil pela densidade a granel, respectivamente para cada biomassa.

## 4.3 Produção dos *Pellets*

Os *pellets* foram produzidos com diferentes proporções de resíduos da torrefação do café e partículas de Pinus, totalizando 5 tratamentos compostos de misturas de 0 até 100% de adição de resíduo da torrefação do café a massa de partículas de Pinus, numa amplitude de 25%, conforme Tabela 1.

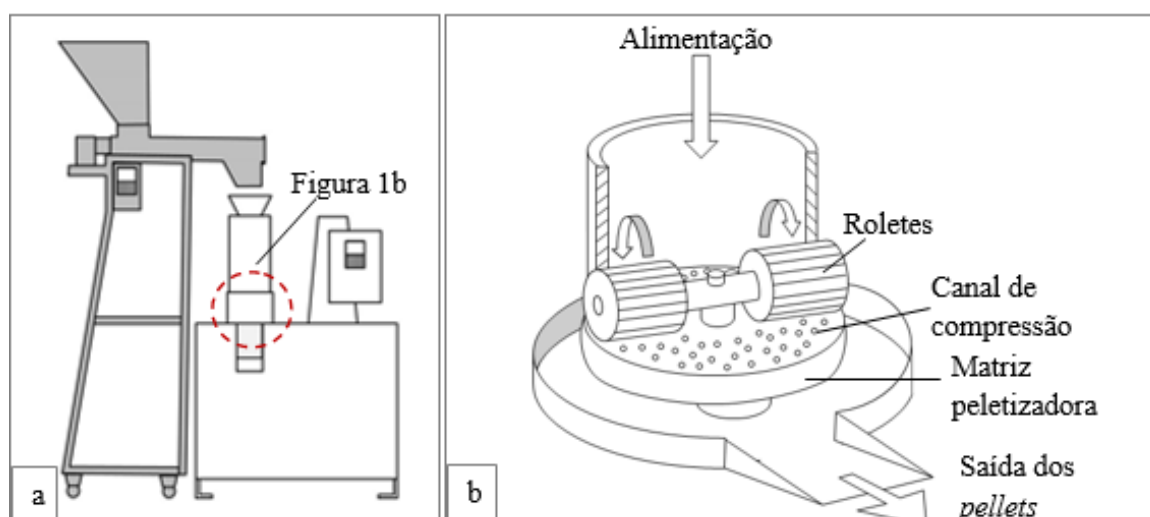
**Tabela 1** – Proporção da mistura de biomassa de resíduo da torrefação do café e madeira de pinus

Tratamento	Resíduos da torrefação do café (%)	Madeira de Pinus (%)
1	100	0
2	75	25
3	50	50
4	25	75
5	0	100

Para alimentação da peletizadora, utilizou-se um sistema composto por um motor elétrico, um controlador de velocidade e uma rosca sem fim (Figura 2a).

Os *pellets* foram produzidos em uma prensa peletizadora laboratorial com matriz circular horizontal (Figura 2b) da marca Amandus Kahl, modelo 14-175 com capacidade para produção de 50 kg.h-1. As dimensões dos canais de compressão da matriz consistiam em diâmetro interno de entrada 7,0mm e de saída 6,3mm e 30mm de comprimento.

Produziram-se aproximadamente 2,0 kg de *pellets* de cada tratamento. A temperatura de peletização variou de 95 a 100 °C e a velocidade de rotação dos roletes foi de 1500 rpm.



**Figura 2** – (a) Sistema de alimentação, em cinza, e peletizadora; (b) Matriz circular horizontal

#### 4.4 Propriedades dos *Pellets*

Para determinação da umidade de equilíbrio higroscópico, os *pellets* foram levados a uma câmara climática a temperatura de 20°C e 65% de umidade relativa, obtendo a massa final de equilíbrio.

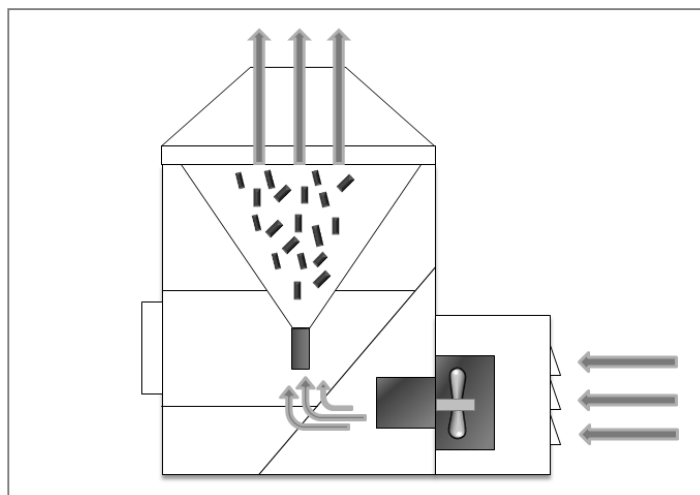
A determinação da umidade dos *pellets* foi feita de acordo com a norma EN 14774-2 (DIN, 2009), apenas modificando o cálculo de umidade em base úmida para a base seca.

A densidade a granel, a análise química imediata e o poder calorífico superior e útil seguiram a mesma metodologia utilizada para a biomassa.

A taxa de compactação foi calculada dividindo-se a densidade a granel dos *pellets* pela densidade a granel do material.

O diâmetro (mm) e comprimento (mm) foram obtidos seguindo a norma EN 16127 (DIN, 2010). Para tanto, pesou-se 60 gramas de *pellets* de cada tratamento e mediram-se todas as unidades.

A durabilidade mecânica e a porcentagem de finos (partículas menores que 3,15 mm) foram determinadas utilizando-se o equipamento Ligno-Tester, Holmen® (Figura 2), de acordo com a norma DIN EN 15210-1 (Deutsches Institut Für Normung, 2010) e instruções do equipamento. As amostras de *pellets* são ventiladas por meio de um jato de ar que simula a destruição natural dos *pellets* durante o transporte e manuseio, em uma câmara com formato de pirâmide quadrangular invertida (Figura 3). Para a determinação da porcentagem de finos, o fluxo de ar tinha pressão de 30 mbar e duração de 30 segundos. Posteriormente, as amostras sem finos foram submetidas a outro fluxo de ar controlado (70 mbar) durante 60 segundos para determinação da durabilidade mecânica.



**Figura 3** – Equipamento do Lino-Tester, Holmen®

A dureza ou resistência ao esmagamento, em kg, foi determinada pelo ensaio de compressão diametral do *pellet* em um durômetro manual com escala de 0 a 100 kg, da marca Amandus Kahl. Um *pellet*, por vez, foi inserido no durômetro e foi aplicada carga crescente, até fratura da amostra. Então, fez-se a leitura da carga máxima, em kg, que um *pellet* pode suportar antes de rachar.

A densidade energética foi obtida através da multiplicação do poder calorífico útil pela densidade a granel dos *pellets*, sendo apresentada em MJ/m<sup>3</sup>.

#### **4.5 Classificação dos *Pellets* de acordo com as Normas de qualidade**

O principal mercado consumidor de *pellets* está localizado na Europa, sendo assim importante classificá-los de acordo com as normas internacionais definidas pelos países consumidores. As normas alemãs DIN EN 14961-2 (Deutsches Institut Für Normung, 2011) e DIN EN 14961-6 (Deutsches Institut Für Normung, 2012) tratam da qualidade de *pellets* de madeira e não-madeira, respectivamente, para uso não industrial.

Estas normas foram utilizadas para fins de comparação da qualidade dos *pellets* produzidos neste trabalho (Tabelas 2 e 3).

**Tabela 2** – Especificações para *pellets* de madeira

Propriedade (Unidade)	Origem		
	A1	A2	B
	Madeira de tronco, resíduos de madeira sem tratamento químico.	Árvores inteiras sem raízes, madeira de tronco, resíduos de colheita, casca, madeira sem tratamento químico.	Plantios florestais e outras madeiras limpas, resíduos do processamento da madeira, madeira reaproveitada.
Diâmetro (mm)	6 ± 1	6 ± 1;	6 ± 1
Comprimento (mm)	3,15 ≤ Comprimento ≤ 40	3,15 ≤ Comprimento ≤ 40	3,15 ≤ Comprimento ≤ 40
Umidade base úmida (%)	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Teor de cinzas (%)	≤ 0,7	≤ 1,5	≤ 3,0
Durabilidade mecânica (%)	≥ 97,5	≥ 97,5	≥ 96,5
Finos (%)	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Poder Calorífico Líquido - PCL (MJ.kg <sup>-1</sup> )	16,5 ≤ PCL ≤ 19	16,3 ≤ PCL ≤ 19	16,0 ≤ PCL ≤ 19
Densidade a granel (kg.m <sup>-3</sup> )	≥ 600	≥ 600	≥ 600

Fonte: Adaptado de DIN EN 14961-2 (Deutsches Institut Für Normung, 2011).

**Tabela 3** – Especificações para *pellets* não-madeira

Propriedade (Unidade)	Origem	
	A	B
	Biomassa herbácea; Biomassa de frutas; Mistura de biomassas	Biomassa herbácea; Biomassa de frutas; Mistura de biomassas
Diâmetro (mm)	6 ± 1	6 ± 1
Comprimento (mm)	3,15 ≤ Comprimento ≤ 40	3,15 ≤ Comprimento ≤ 40
Umidade base úmida (%)	≤ 12	≤ 15
Teor de cinzas (%)	≤ 5	≤ 10
Durabilidade mecânica (%)	≥ 97,5	≥ 96,0
Finos (%)	≤ 2	≤ 3
Poder Calorífico Líquido – PCL (MJ.kg <sup>-1</sup> )	≥ 14,1	≥ 13,2
Densidade a granel (kg.m <sup>-3</sup> )	≥ 600	≥ 600

Fonte: Adaptado de DIN EN 14961-6 (Deutsches Institut Für Normung, 2012).



O material utilizado para produção de *pellets* produzidos a partir de resíduos da torrefação do café foi considerado não madeira. Portanto, o tratamento 5 será classificado de acordo com a norma DIN EN 14961-2 (Deutsches Institut Für Normung, 2011), na classe A1 (tabela 2) e os tratamentos de 1 a 4 serão classificados de acordo com a norma DIN EN 14961-6 (Deutsches Institut Für Normung, 2012) utilizada para classificação dos *pellets*, na classe A ou B (Tabela 3).

#### **4.6 Delineamento experimental**

Os dados foram submetidos aos testes Cochran e Lilliefors para avaliar a homogeneidade e normalidade das variâncias, respectivamente. Posteriormente procedeu-se a análise de variância ANOVA e quando estabelecidas diferenças significativas, os tratamentos foram comparados entre si por meio do teste de Tukey a 95% de probabilidade.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa STATISTICA 8.0 (STATSOFT, 2007).

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Caracterização da biomassa *in natura***

Os valores médios de umidade em base úmida, densidade a granel, poder calorífico superior, poder calorífico inferior, voláteis, cinzas e carbono fixo das biomassas são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** – Valores médios de umidade, em base úmida e base seca, densidade a granel e poder calorífico superior das biomassas

Propriedade	Biomassa	
	Madeira de Pinus	Resíduos da torrefação do café
Umidade <sub>bu</sub> (%)	10,83	10,85
Densidade a granel (Kg/m <sup>3</sup> )	127,64	89,60
PCS (Kcal/Kg)	4708,00	4627,00
PCU (Kcal/Kg)	4139,00	3911,00
Voláteis (%)	84,80	70,56
Cinzas (%)	0,29	10,59
CF (%)	14,91	18,85

Umidade<sub>bu</sub> = Umidade em base úmida. PCS = Poder calorífico superior. PCU = Poder calorífico útil. CF = Carbono fixo.

A umidade em base seca da biomassa foi de 12±0,5%, conforme estabelecido para a produção dos *pellets*. A umidade em base úmida das matérias-primas utilizadas na produção de *pellets* foi em média 10,84% (Tabela 4). Segundo Obernberger e Thek (2010) a umidade em base úmida da matéria-prima para produção de *pellets* deve estar entre 8,0 a 12,0%, pois quando a umidade se encontra abaixo desse intervalo dificulta a transferência de calor e consequentemente a plastificação da lignina e quando está acima do intervalo o diâmetro e o comprimento não são estáveis. As biomassas utilizadas para a produção dos *pellets* estão dentro da faixa proposta.

Observa-se que a densidade a granel do resíduo da torrefação do café foi significativamente menor que a obtida para o pinus, demandando maior taxa de compactação para redução do seu volume inicial. Normalmente a densidade a granel de resíduos agrícolas variam entre 80 a 150 Kg/m<sup>3</sup> e a da madeira entre 150 a 250Kg/m<sup>3</sup>, (TUMULURU et al., 2011). Sendo assim, apenas a densidade a granel encontrada pela a madeira de pinus se encontra um pouco abaixo do que é utilizado para produção dos *pellets*. Ressalva-se que devido à baixa densidade dos materiais lignocelulósicos há uma limitação da sua utilização *in natura* como fonte energética, dificultando o transporte e a estocagem. Daí a importância da peletização ou outro processo de densificação desses materiais, tornando-os tecnicamente e economicamente viáveis.

De acordo com os resultados, não houve diferenças significativas do poder calorífico superior entre as biomassas utilizadas para a produção dos *pellets*. Esperava-se

um maior PCS no resíduo da torrefação do café, visto que a mesma já passou por um processo de torrefação, eliminando oxigênio e concentrando carbono.

O teor de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo diferiram estatisticamente entre as biomassas (tabela 4). Segundo Carrol (2012) os voláteis são importantes para liberação rápida de energia, logo quanto maior o teor de voláteis maior a velocidade de queima na fase gasosa.

Baixos teores de cinzas na biomassa têm pouca influência direta no processo de peletização, porém se o teor de cinzas for maior que 10%, irá causar desgaste dos roletes e da matriz de peletização, diminuindo a vida útil do equipamento (OBERNBERGER E THEK, 2010). O alto teor de cinzas encontrado neste resíduo provavelmente se deve ao alto valor de inorgânicos verificado para esta biomassa ou devido a algum tipo de contaminação no resíduo (Tabela 4).

Observa-se que o resíduo gerado após a torrefação do café tem mais de 10% de cinzas na sua composição, o que contribuiu negativamente para o poder calorífico superior, visto que essas propriedades são inversamente proporcionais.

O carbono fixo segue uma relação indireta com o teor de voláteis, quanto maior o teor de voláteis, menor o teor de carbono fixo. Observa-se que devido a torrefação, o resíduo de café apresentou maior teor de carbono fixo, devido à redução de compostos voláteis, concentrando-se carbono na sua composição.

Em estudo mais detalhado sobre a composição do resíduo do café após a torrefação (*pergaminho*) Brum et al., (2008) observou valores significativamente maiores para celulose, lignina, hemicelulose e matéria seca e valores significativamente menores para extrativos, cinzas, macro e micronutrientes.

## **5.2. Aspectos Visuais do Pellets**

Na Figura 4 são apresentadas as imagens das biomassas *in natura* e dos *pellets* produzidos a partir do resíduo pós torrefação do café e da madeira de Pinus.



**Figura 4** – *Pellets* produzidos a partir da biomassa do resíduo pós torrefação do café e pinus em diferentes proporções

### **5.3. Propriedades dos *pellets***

Na Tabela 6 são apresentados os valores médios das propriedades físicas dos *pellets* em função dos tratamentos.

**Tabela 5 –** Propriedades físicas dos *pellets* em função dos tratamentos

Tratamento	Densidade a granel (Kg/m <sup>3</sup> )	Taxa de compactação	U <sub>bs</sub> EH (%)	PCU (MJ/Kg)	Densidade energética (MJ/Kg)
T1	630,99a	7,04a	8,38d	16,30b	10287,07a
T2	630,47a	6,36b	9,58c	16,52b	10411,69a
T3	538,89c	4,96c	10,31ab	16,42b	8864,36b
T4	517,35d	4,38e	10,41a	16,56b	8557,96c
T5	600,10b	4,70d	9,85bc	17,32a	10387,01a

U<sub>bs</sub>EH = Umidade de equilíbrio higroscópico na base seca. PCU = Poder calorífico útil. T1 = 100% resíduo da torrefação do café + 0% de madeira de pinus. T2 = 75% resíduo da torrefação do café + 25% de madeira de pinus. T3 = 50% resíduo da torrefação do café + 50% de madeira de pinus. T4 = 25% resíduo da torrefação do café + 75% de madeira de pinus. T5 = 0% resíduo da torrefação do café + 100% de madeira de pinus. Valores ao longo das colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste Tukey.

A densidade a granel dos *pellets* variou de 538,89 a 630,99 Kg/m<sup>3</sup>. Ressalta-se que quanto maior for a densidade a granel dos *pellets* maior será a sua densidade energética e massa transportada ou armazenada num *container*, minimizando os custos de transporte e armazenamento (OBERNBERGER; THEK, 2010).

Observa-se que a medida que se adicionou resíduo da torrefação do café, a composição das partículas para a produção dos *pellets*, a taxa de compactação aumentou e consequentemente a densidade a granel. Isso se deve a baixa densidade a granel das partículas de resíduo do café (89,60 kg/m<sup>3</sup>).

A umidade de equilíbrio higroscópico na base úmida diferiu estatisticamente entre os diferentes tratamentos, tendo os *pellets* produzidos apenas com resíduo da torrefação do café menor UEH. Isto ocorre devido ao material de resíduo do café estar torreficado e apresentar menor capacidade de absorção de água (LI et al., 2012).

Em relação ao poder calorífico útil (PCU), não houve efeito dos tratamentos, exceto para os *pellets* produzidos apenas com partículas que Pinus, os quais obtiveram os maiores valores, provavelmente devido ao menor teor de cinzas desta biomassa e ao grande teor de lignina e resina encontrados em sua madeira.

A densidade energética, indica o potencial energético dos *pellets*, em termos de unidade de energia por volume. A densidade energética dos *pellets* aumentou na proporção que a densidade a granel de cada tratamento aumentava. Os tratamentos 1, 2 e

5 não diferiram estatisticamente entre si, apresentando os maiores valores de densidade energética. Enquanto que os *pellets* produzidos com 50 e 75% de adição de resíduo da torrefação do café na sua composição tiveram os menores valores médios. Isso se deve a menor densidade a granel destes *pellets*, visto que essa propriedade é diretamente proporcional a densidade e ao poder calorífico. Segundo Obernberger e Thek (2010) os custos de transporte e armazenamento são reduzidos com o aumento da densidade energética.

Na Tabela 7 são apresentados os valores médios das dimensões e propriedades mecânicas dos *pellets*.

**Tabela 7** – Valores médios do diâmetro (mm), comprimento (mm), dureza (Kg), durabilidade mecânica e porcentagem de finos dos *pellets*

<b>Tratamento</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Dureza (Kg)</b>	<b>Durabilidade Mecânica (%)</b>	<b>Finos (%)</b>	<b>Cinzas (%)</b>
<b>T1</b>	6,09	18,26	13,92	98,21a	0,05c	10,59a
<b>T2</b>	6,17	20,53	13,76	97,73a	0,09bc	8,02b
<b>T3</b>	6,22	19,56	5,00	92,59a	0,30bc	5,44c
<b>T4</b>	6,21	16,98	5,40	85,27b	0,35b	2,87d
<b>T5</b>	6,07	18,00	11,24	75,27c	0,89a	0,29e

T1 = 100% resíduo da torrefação do café + 0% de madeira de pinus. T2 = 75% resíduo da torrefação do café + 25% de madeira de pinus. T3 = 50% resíduo da torrefação do café + 50% de madeira de pinus. T4 = 25% resíduo da torrefação do café + 75% de madeira de pinus. T5 = 0% resíduo da torrefação do café + 100% de madeira de pinus. Valores ao longo das colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste Tukey.

Devido ao grande coeficiente de variação das variáveis diâmetro, comprimento e dureza estas não atenderam aos testes de normalidade e homogeneidade de variância.

A dureza reflete na compressão devido ao peso dos próprios *pellets* no momento do armazenamento ou esmagamento, ela não é uma propriedade normatizada, porém é importante realizar o teste para obter-se um resultado rápido da resistência mecânica dos *pellets*. Observa-se que os *pellets* com os maiores percentuais de resíduo do café (T1 e T2) apresentaram maior dureza, provavelmente devido a maior taxa de compactação dos mesmos. Em contrapartida os menos valores de dureza foram observados para os *pellets* produzidos com 25 e 50% de resíduo do café, devido a menor taxa de compactação.

É importante avaliar a durabilidade dos *pellets*, pois a baixa durabilidade implica em sensibilidade ao estresse mecânico durante transporte e manuseio, gerando finos e dificultando sua utilização. Os *pellets* produzidos com 50, 75 e 100% de resíduo da torrefação do café apresentaram maior durabilidade, diferindo significativamente dos demais.

Quanto a geração de finos, observa-se que, de modo geral, a medida que aumenta o percentual de partículas de pinus, a quantidade de finos gerados aumenta. Provavelmente devido a maior dificuldade da compactação das partículas de pinus pelo equipamento utilizado. De acordo com a norma DIN EN 14588, finos são partículas com dimensões inferiores a 3,15 mm, gerados com o atrito entre os *pellets*.

O teor de cinzas diferiu significativamente entre os tratamentos. Observa-se maior teor de cinzas nos *pellets* com maior proporção do resíduo da torrefação do café. Teor de cinzas refere-se ao material inorgânico presente na biomassa, podendo ser proveniente da sua constituição química ou devido a algum tipo de contaminação durante o processo.

De modo geral, observou-se que os *pellets* com maiores valores médios de densidade a granel apresentaram, também, maior resistência mecânica, representada pela dureza e durabilidade mecânica. Estes resultados condizem com os obtidos por Zamorano et al., (2011), que relaciona a resistência mecânica às forças de adesão entre as partículas que constituem os *pellets*. Isto se dá ao fato de que quanto maior a compactação do material, maior a área de contato entre as partículas, maior a força de adesão e maior a massa por unidade de volume, sendo assim, maior a resistência mecânica dos *pellets*.

#### **5.3.4 Classificação dos *pellets* de acordo com as normas de qualidade**

Na tabela 8 é apresentado um resumo da classificação dos *pellets* em função dos tratamentos.



**Tabela 8 –** Qualidade dos *pellets* de madeira e não-madeira para uso não-residencial, de acordo com as normas consideradas neste estudo

Norma	Classe	Tratamento	Propriedades							
			Densidade a granel	Umidade base úmida	Poder Calorífico Líquido	Diâmetro	Comprimento	Durabilidade mecânica	Finos	Cinzas
EN 1Pellets de madeira 4961-2 (DIN, 2011)	A1	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x
	A1	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	A1	3	x	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓
	A1	4	x	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓
Pellets não-madeira EN 14961-6 (DIN, 2012)	B	5	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓

x: Diretriz não cumprida (para *pellets* madeira e não-madeira); ✓: Diretriz cumprida (para *pellets* de madeira); A ou B: Classificação quanto à norma EN 14961-2 (DIN, 2011) para *pellets* de madeira.

O diâmetro e comprimento de um mesmo lote devem ser semelhantes para se obter um produto mais homogêneo e de mais fácil manuseio. Para isso, a norma europeia padroniza as propriedades do produto. Observa-se as dimensões dos *pellets*, independente do tratamento, atendem as especificações das normas.

Verifica-se que os *pellets* produzidos com 50 e 75% de resíduos do café na composição não atenderam a norma quanto a densidade a granel. E em relação a umidade em base úmida todos os *pellets* produzidos atenderam a norma.

O poder calorífico líquido e a geração de finos dos *pellets*, independente do tratamento, atenderam aos valores médios especificados na norma.

Quanto durabilidade mecânica apenas os *pellets* produzidos com 75 e 100% de resíduos do café atenderam a norma. Logo, recomenda-se estudos com diferentes parâmetros de produção, uma vez que a pressão e a temperatura de compactação é resultado da densidade das partículas, umidade e granulometria.

De acordo com as normas de qualidade de *pellets*, caso o teor de cinzas seja superior ao especificado, deve-se proceder a exclusão de uma matéria-prima para a produção de *pellets*. Apenas o tratamento com 100% de resíduos de café apresentou valor de cinza superior ao especificado, logo os produzidos com 100%, 75%, 50% e 25% de madeira de pinus estão adequados a comercialização de acordo com a norma Europeia.

Em suma os *pellets* de madeira de Pinus possuem maior poder calorífico líquido e menor teor de cinzas.

## 6 CONCLUSÕES

- Os resíduos da torrefação do café possuem alto teor de cinzas, no entanto apresentaram PCS próximos aos da madeira.
- Os *pellets* produzidos apenas com madeira de Pinus destacaram-se em relação ao maior poder calorífico líquido e menor teor de cinzas, apresentando maior densidade energética.
- Nenhum tratamento atendeu a norma Europeia na sua totalidade. No entanto, todos os tratamentos proporcionaram a produção de *pellets* com propriedades físicas, químicas e mecânicas que permitem o seu uso, no mercado nacional, tanto para consumo residencial quanto industrial.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPEL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE PELLETS. **Pellets Map 2013**. 2013. Disponível em: <<http://www.abipel.com.br/Home.aspx>>. Acesso em: 14 Mai. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, A. B. R. A. F. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília, 148 p. 2013.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 7993** Madeira - determinação da umidade por secagem em estufa reduzida a serragem - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 8112** - Análise química imediata do carvão vegetal. Rio de Janeiro, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 8633** - Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1986.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - BEN 2013. **Ano Base 2013**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2014. 288p. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2014.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf)>. Acesso em: 20 Out. 2014.

BARTHOLO, G. F.; MAGALHÃES, A. A. R. F.; GUIMARÃES, P. T. G.; CHALFOUN, S. M. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14, n. 162, p. 33-44, 1989.

BRITO, J.O.; SILVA, F.G.; LEÃO, M.M.; ALMEIDA, G. Chemical composition changes in eucalyptus and pinus woods submitted to heat treatment. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 8545–8548, 2008.

BRUM, S. S. **Caracterização e modificação química de resíduos sólidos do beneficiamento do café para produção de novos materiais**. Lavras: UFLA, 2007. p.138.

BRUM, S. S.; BIANCHI, M. N.; SILVA, V. L.; GONÇALVES M.; GUERREIRO, M. C.; OLIVEIRA; L. C. A. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do Beneficiamento do café. **Quim. Nova**, v. 31, n. 5, p. 1048-1052, 2008.

CARROLL, J. P.; FINNAN, J. Physical and chemical properties of pellets from energy crops and cereal straws. **Biosystems Engineering**, v. 112, n. 2, p. 151-159, 2012.

CARVALHO, A. M. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; SOUZA, M. M. Produção de Pellets da Madeira. In: SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. **BIOENERGIA E BIORREFINARIA: Cana-de-açúcar & Espécies Florestais**. 1. ed. Viçosa, MG: Os Autores, 2013. cap. 14, p. 379-400.

**COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB.** 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=11&t=%3E>>. Acesso em: 31 de maio de 2015.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG - **DIN EN 14588** - Terminology, definitions and descriptions. Berlim, 2011.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG - **DIN EN 14774-2** - Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 2: Total moisture - Simplified method. Alemanha, 2009.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG - **DIN EN 14961-2** Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 2: Wood pellets for non-industrial use. Alemanha, 2011.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG - **DIN EN 14961-6** - Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 6: Wood pellets for non-industrial use. Alemanha, 2012.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG - **DIN EN 15103** - Solid biofuels - Determination of bulk density. Alemanha, 2010.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG - **DIN EN 15210-1** - Solid biofuels - Determination of mechanical durability of pellets and briquettes - Part 1: Pellets. Alemanha, 2010.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG - **DIN EN 16127** - Solid biofuels - Determination of length and diameter of pellets. Alemanha, 2012.

DONZELES, S. M. L.; SAMPAIO, C. P.; SOARES, S. F.; RIBEIRO, M. F. Colheita e Processamento do Café Arábica. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L.; CARVALHO, G. R. **Café Arábica da pós-colheita ao consumo.** 2 v. ed. EPAMIGUE, Lavras, MG: Os Autores, 2011. Cap 1, p. 19-65.

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C. As indústrias de pellets no Brasil. **Revista da Madeira**, v. 133, p. 18-19, 2012.

HERMOSA, V. A. B. **Aproveitamento de resíduos do processamento semi-seco do café para a produção de compostos de valor agregado**. 2014. 77f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola). Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2014.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Indústria Brasileira de Árvores**. São Paulo, 100 p. 2014.

IEA Bioenergy. 2011. **Current Status of Production and Thermal Utilisation of Biomass Pellets**. p. 14. Disponível em: <<http://www.ieabioenergy.com/publications/annual-report-2011/>>. Acesso em: 28 Mai. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. **Cultura do café no Brasil: manual de recomendações**. 2.ed. Rio de Janeiro: IBC-GERCA, 1977. 321p.

LAI, Z. Y.; CHUA, H. B.; GOH, S. M. Influence of process parameters on the strength of oil palm kernel shell pellets. **Journal of Materials Science**, v. 48, n. 4, p. 1448-1456, 2013.

LEE, S. M.; AHN, B. J.; CHOI, D. H.; HAN, G. S.; JEONG, H. S.; AHN, S. H.; YANG, I. Effects of densification variables on the durability of wood pellets fabricated with *Larix kaempferi* C. and *Liriodendron tulipifera* L. sawdust. **Biomass & Bioenergy**, v. 48, p. 1-9, 2013.

LI, H.; LIU, X.; LEGROS, R.; BI, X. T.; LIM, C. J.; SOKHANSANJ, S. Torrefaction of sawdust in a fluidized bed reactor. **Bioresource Technology**, v. 103, n. 1, p. 453-458, 2012.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro e Varginha, MAPA/PROCAFÉ, 2005. 436p.

MINISTÉRIO MEIO AMBIENTE - MMA. **Biomassa**. 2014. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/biomassa>>. Acesso em: 21 Mai. 2015.

NABAIS, J. M. V.; NUNES, P; CARROT, P. J.M.; CARROT, M. M. L. R.; GARCÍA, A. M.; DÍAZ-DÍEZ, M. A. Production of activated carbons from coffee endocarp by CO<sub>2</sub> and steam activation. **FUEL PROCESSING TECHNOLOGY**, v. 89, p. 262-268, 2008.

OBERNBERGER, I.; THEK, G. **The pellet handbook: The production and thermal utilisation of pellets**. London: Earthscan, 2010. 593 p.

PAULA, L. R. **Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos**. 2010. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2010.

PEREIRA, B. L. C. **Propriedades de pellets: biomassas, aditivos e tratamento Térmico**. 2014. 73f. Dissertação (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2014.

REMADE – REVISTA DA MADEIRA. **Resíduos**. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia)>. 2004. Acesso em: 05 Jun 2015.

SEITER, S.; HORWATH, W. R. Strategies for managing soil organic matter to supply plant nutrients. In: MAGDOFF, F.; WEIL, R. R. (Ed.). **Soil organic matter in sustainable agriculture**. London, p.269 -293. 2004.



SILVA, C. A. **Estudo técnico-econômico da compactação de resíduos madeiros para fins energéticos**. 2007. 85f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, São Paulo. 2007.

SILVA, J. S.; MORELI, A. P.; SOARES, S. F.; DONZELES, S. M. L.; VITOR, D. G. **Produção de Café Cereja Descascado – Equipamentos e Custo de Processamento**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. Comunicado Técnico, n.4, 16p.

STATSOFT, I. N. C. **Statistica data analysis software system version 8.0**. Tulsa, USA. 2007.

STELTE, W.; SANADI, A. R.; SHANG, L.; HOLM, J. K.; AHRENFELDT, J.; HENRIKSEN, U. B. Recent developments in biomass pelletization - a review. **Bioresources**, v. 7, n. 3, p. 4451-4490, 2012.

TUMULURU, J. S. Effect of process variables on the density and durability of the pellets made from high moisture corn stover. **Biosystems Engineering**, v. 119, p. 44- 57, 2014.

TUMULURU, J. S.; WRIGHT, C. T.; HESS, J. R.; KENNEY, K. L. A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 5, n. 6, p. 683-707, 2011.

WWWRGROUP - WORLD WIDE RECYCLING GROUP. **O mercado de pellets de madeira**. 2012. Disponível em: <<http://www.wwrgroup.com/pt/mercado-de-biomassa/mercado-de-pellets-de-madeira>>. Acesso em: 05 Jun. 2015.

WOICIECHOWSKI, A. L.; SOCCOL, C. R.; CAMARGO, F.; PANDEY-CSIR, A. Produção de goma xantana a partir de resíduos da agroindústria do café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. 1., 2000. Poços de Caldas. **Anais**. Poços de Caldas, 2000.

ZAMORANO, M.; POPOV, V.; RODRÍGUEZ, M. L.; GARCÍA-MARAVÉ, A. A comparative study of quality properties of pelletized agricultural and forestry lopping residues. **Renewable Energy**, v. 36, n. 11, p. 3133-3140, 2011.