

VANESSA CABRAL COSTA DE BARROS

**BRIQUETES PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE PODA URBANA  
E EMBALAGENS CARTONADAS**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de Engenharia Florestal.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
AGOSTO – 2013

VANESSA CABRAL COSTA DE BARROS

**BRIQUETES PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE PODA URBANA  
E EMBALAGENS CARTONADAS**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de Engenharia Florestal.

APROVADA: 28 Agosto de 2013.

---

Bárbara Luísa Corradi Pereira

---

Benedito Rocha Vital

(Coorientador)

---

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro  
(Orientadora)

---

Marina Moura de Souza  
(Coorientadora)

## **AGRADECIMENTO**

A Deus.

Aos meus pais, Joel M. Barros e Margareth Cabral. C. de Barros pelo incentivo e amor incondicional.

Ao Vinicius, meu namorado, que sempre me apoiou e teve a paciência de ler toda a monografia, mesmo não sendo ela da sua área.

À Cassinha, pelo apoio que sempre me ofereceu em todos os momentos da minha graduação.

À Marina, que foi fundamental na realização deste trabalho.

A todos do LAPEM, que sempre foram, para mim, minha segunda família.

A EMAE pela oportunidade de trabalhar com este tema.

Ao Professor Benedito e Babi pelas contribuições realizadas ao meu trabalho.

## **BIOGRAFIA**

Vanessa Cabral Costa de Barros, filha de Joel Manoel de Barros e Margareth Cabral Costa de Barros, nasceu em 24 de outubro de 1988, em Barbacena, Minas Gerais.

Em 2006, concluiu o ensino médio na Escola de Aplicação da Universidade Presidente Antônio Carlos, Barbacena, Minas Gerais. Ingressou, em 2007, na então, Escola Agrotécnica Federal de Barbacena para a realização do técnico em Meio Ambiente e Ecologia. Interrompeu após um ano para, em março de 2008, iniciar o curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, concluído em setembro de 2013.

## CONTEÚDO

	Página
EXTRATO .....	6
1. INTRODUÇÃO .....	7
2. OBJETIVO.....	9
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	10
3.1. Resíduos Sólidos Urbanos .....	10
3.1.1. Definição.....	10
3.1.2. Produção e Destino de Resíduo Sólido no Brasil .....	11
3.2. Resíduos de Poda Urbana .....	14
3.3. Resíduos de Embalagens Cartonadas .....	15
3.3.1. Definição de Embalagens Cartonadas .....	15
3.3.2. A reciclagem como opção de reaproveitamento.....	16
3.4. Briquetagem .....	17
3.4.1. Conceito .....	17
3.4.2. Vantagens e Desvantagens.....	18
3.4.3. Parâmetros de produção de briquetes .....	19
3.4.4. Briquetagem de resíduos sólidos urbanos e agroflorestais .....	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	24
4.1. Caracterização dos resíduos .....	25

4.2. Produção dos briquetes.....	26
4.3. Propriedades físicas e mecânicas dos briquetes .....	27
4.4. Densidade energética.....	28
4.5. Delineamento experimental.....	28
5. RESULTADOS.....	29
5.1. Caracterização dos resíduos .....	29
5.2. Produção dos briquetes.....	32
5.3. Propriedades físicas e mecânicas dos briquetes .....	33
5.4. Densidade Energética .....	36
6. CONCLUSÃO .....	37
7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....	38

## EXTRATO

BARROS, V. C. C.. Monografia de graduação. Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2013. **Briquetes produzidos com resíduos de poda urbana e embalagens cartonadas**. Orientadora: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro.

O objetivo deste trabalho foi produzir briquetes a partir de misturas de embalagens cartonadas e resíduos de poda urbana e avaliar suas propriedades a fim de verificar a viabilidade técnica do produto e indicá-lo como uma alternativa de geração de energia. Após o preparo das amostras realizou-se a caracterização física e química dos resíduos. Produziu-se briquetes com diferentes proporções de embalagens cartonadas e poda urbana, sob condições controladas de temperatura (90° C) e pressão (1500 PSI). Posteriormente, realizou-se a caracterização física e mecânica dos briquetes. De acordo com os resultados, verificou que a adição crescente de resíduos de embalagem cartonada a composição dos briquetes reduziu a taxa de retorno (altura e diâmetro) e variação de massa. A densidade aparente e a resistência à compressão foram maiores para as maiores proporções de resíduos de embalagens agregado aos briquetes. Concluiu-se que é viável tecnicamente a produção de briquetes a partir de resíduos de embalagem cartonada e poda urbana.

**Palavras-chave:** resíduos, briquetagem, energia.

## 1. INTRODUÇÃO

A expectativa de crescimento das cidades evidencia a necessidade da sociedade de buscar formas para tornar o desenvolvimento urbano sustentável. Dentre inúmeros aspectos relacionados a esta sustentabilidade, destaca-se a implementação de destinos mais apropriados (ecologicamente mais corretos) aos resíduos, como também, a ampliação da matriz energética para suprir as demandas da sociedade.

Isto é demonstrado em perspectiva estimada para 2020, que indica um patamar de demanda brasileira por energia de 372 milhões de tep (tonelada equivalente de petróleo), crescimento anual de 5,3% (TOLMASQUIM, 2012). Observa-se também, o aumento na quantidade de resíduos, que vem causando graves entraves para as cidades principalmente pela dificuldade de uma destinação final adequada a esses resíduos, em decorrência do custo elevado para a coleta, a falta de locais apropriados para a construção de aterros sanitários, bem como o alto custo para a manutenção desses aterros, entre outros (ONOFRE, 2011).

Neste contexto, têm-se os resíduos do procedimento de poda urbana, que pode ser definida como extração de galhos finos e grossos, folhas, raízes e troncos de árvores em cidades. Estes são descartados, em sua maioria, em lixões e aterros sanitários, e pela sua grande quantidade gerada pode ser considerado como um desperdício de biomassa, que por sua vez se revela como um potencial de matéria-prima para a produção de energia a partir, por exemplo, da briquetagem.



No mesmo sentido, têm-se as embalagens cartonadas, que pela presença de diferentes materiais na composição (papel, polietileno de baixa densidade (PEBD) e alumínio) possui reciclagem difícil, devido à necessidade de separação destes materiais. Este procedimento não seria necessário se tal material fosse utilizado para fins energéticos, na forma de briquetes, técnica que não irá requerer desagregação de seus constituintes.

A briquetagem é um processo de compactação de material de origem lignocelulósica, com ou sem adição de ligantes, tornando-o mais denso. Isto contribui para o aumento do conteúdo energético do material por unidade de volume, diminuição da velocidade de liberação da energia (quando comparado com a liberação rápida de energia dos materiais não compactados), ocorrência de combustão uniforme e maior facilidade nos processos de transporte e estocagem (WERTHER et al., 2000). Os briquetes são utilizados principalmente para geração de energia na forma de calor, para uso em pizzarias, caldeiras, lareiras, padarias, cerâmicas, entre outros.

Diante deste contexto, pela grande quantidade de resíduos gerados e por uma disposição correta dos materiais ainda ser ínfima, foi objetivo do presente estudo a viabilidade técnica da produção de briquetes a partir de poda urbana e embalagem cartonada.

## **2. OBJETIVO**

### **Principal:**

O objetivo deste trabalho foi a produção de briquetes empregando misturas de embalagens cartonadas e resíduos de poda urbana, a fim de verificar a viabilidade técnica do produto e indicá-lo como uma alternativa de geração de energia.

### **Específico:**

- Determinar as condições experimentais dos resíduos (massa e umidade);
- Caracterizar as propriedades física e química dos resíduos de biomassa;
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos briquetes;
- Calcular a densidade energética dos briquetes.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. Resíduos Sólidos Urbanos**

##### **3.1.1. Definição**

Os resíduos sólidos, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas, são definidos como quaisquer resíduos que se apresentam nos estados sólido e semissólido resultantes de atividades industrial, domiciliar, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (ABNT, 2004). Outros autores consideram que os resíduos sólidos urbanos compreendem, estritamente, os resíduos de origem residencial, comercial, de serviços de varrição, de feiras livres, de capinação e poda (BIDONE e POVINELLI, 1999; SCHALCH, 1992), não sendo, portanto, considerado os semissólidos.

Para o ramo de ciências econômicas o conceito de resíduos sólidos é caracterizado como um sinal de produção ineficiente (BRAGA e DIAS, 2008). Esses mesmos autores relataram que este conceito se aplica em virtude do fato de que os resíduos são onerosos, em especial para as empresas, devido ao desperdício, em termos de valor de compra dos materiais, não sendo, portanto, pelas taxas de deposição impostas pela regulamentação ambiental.

Independente das considerações, estes resíduos, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, tem particularidades que tornam inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou a disposição final exige solução técnica ou é economicamente inviável em face da melhor tecnologia disponível.

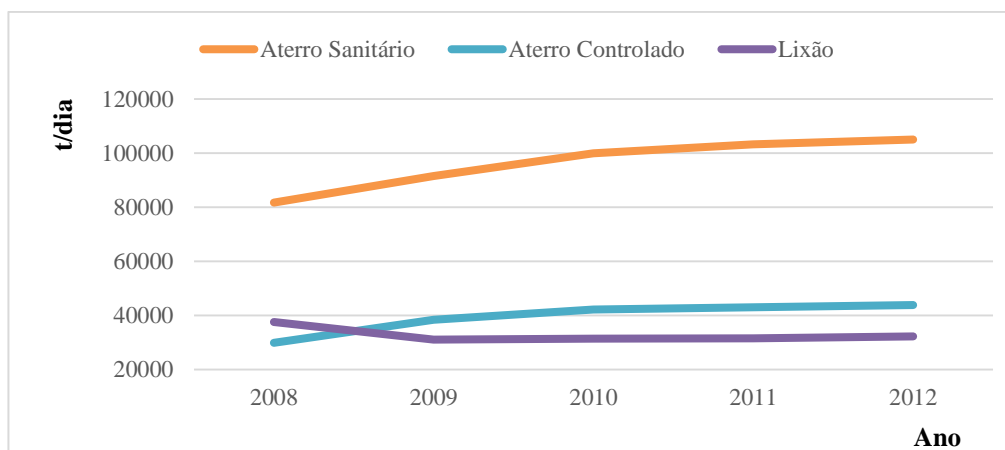
Com isto diferimos da elucidação de rejeitos, que é definida como sendo: “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (REVEILLEAU, 2011).

Desta forma, resíduo sólido pode ser qualquer subproduto e só quando esgotado todas as formas de utilização que será definido como rejeito. Assim, deve ser trabalhada até a última instância uma forma de reaproveitamento deste material.

### **3.1.2. Produção e Destino de Resíduo Sólido no Brasil**

Entre o período de 2011 a 2012, ocorreu no Brasil um aumento da geração de resíduos sólidos da ordem de 1,3%, isto é, de aproximadamente 62000000 para 62700000 t/ano, com registro de geração per capita de 383,2 Kg/hab./ano, crescimento de 0,4% com relação a 2011 (ABRELPE, 2012).

Do integro de Resíduos Sólidos coletados no Brasil, mais de 90% são destinados a aterros sanitários, aterros controlados e lixões, sendo os 10% restantes distribuídos entre unidades de reciclagem, unidades de compostagem, unidades de incineração, vazadouros em áreas alagadas e outros destinos (IPEA, 2012) (Figura 1). Deste total, apenas 1,4% são separados na fonte e encaminhados para centrais de triagem e reciclagem (MMA, 2011).



Fonte: Baseado em dados da ABRELPE 2008 a 2012.

**Figura 1.** Destino final dos resíduos sólidos t/dia no Brasil.

A representatividade dos domicílios brasileiros que apresentavam serviço de coleta de resíduos sólidos, em 2009, era de 90%. Na área urbana essa taxa de cobertura alcançou 98%, no entanto na área rural, somente 33% das residências tivera esse serviço disponível (IPEA, 2012) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Quantidade de Municípios por Tipo de Destinação Adotada

Destinação Final	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	BRASIL
Aterro Sanitário	90	450	157	814	702	2.213
Aterro Controlado	110	505	149	643	366	1.773
Lixão	249	839	160	211	120	1.579
<b>BRASIL</b>	<b>449</b>	<b>1794</b>	<b>466</b>	<b>1668</b>	<b>1188</b>	<b>5565</b>

Fonte: ABRELPE, 2012.

No Brasil, a partir da década de 80, a atenção passou a concentrar-se na redução do volume de resíduos, em todas as etapas da cadeia produtiva. Assim, antes de pensar no destino dos resíduos, pondera-se em como não gerá-lo, em como promover a reciclagem de materiais, o que demanda menos energia e, só então, antes de encaminhar os resíduos ao aterro sanitário, procura-se recuperar a energia presente nos mesmos, tornando-os inertes e diminuindo seu volume.

Conforme estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), o desperdício pela falta de reciclagem no Brasil fica em torno de R\$ 8 bilhões por ano (MMA, 2013). Parte desta perda poderia ser minimizada caso fosse destinado estes

materiais, fossem destinados a ser utilizados como fonte de energia de acordo com suas características.

Com esta reciclagem seria possível gerar diversos melhoramentos no campo ambiental, econômico e social, entre eles, diminuição da quantidade de resíduo a ser desnecessariamente aterrado, preservação dos recursos naturais, economia proporcional de energia, diminuição da poluição ambiental e geração de empregos diretos e indiretos (PACHECO, 2012).

Para mudar esse panorama, o Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentável (PPCS) no Brasil, por meio da criação de mercado para recicláveis, estímulo ao desenvolvimento de estudos e instrumentos de desoneração da cadeia para produtos que contenham materiais reciclados na sua composição, além de ações de educação ambiental e sensibilização tem por objetivo alcançar aumento da reciclagem para 20% até 2015 (RODRIGUES, 2011).

A Lei nº 12.305 de 02 de Agosto de 2010 diz que:

“Art. 9º Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”.

§ 1º Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental (BRASIL, 2012),

implementa o termo Recuperação Energética que é utilizado para denominar os métodos e processos industriais que permitem recuperar parte da energia contida nos resíduos sólidos.

Os métodos mais empregados para esta recuperação é a que utiliza a incineração e, com o calor obtido, gera-se vapor e/ou energia elétrica que pode ser novamente aproveitada pela sociedade (COMITÊ DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA, 2013). Mas para atendimento do proposto pela PPCS tem de ser propostas novas formas de reaproveitamento energético, o que pode incluir nesta demanda a briquetagem.

### **3.2. Resíduos de Poda Urbana**

No Brasil, a arborização de ruas é uma atividade que passou a fazer parte do ambiente urbano de forma generalizada a partir do século XIX (MENEGETTI, 2003).

Porém, a arborização no sentido de planejamento e gestão de Florestas Urbanas, é muitas vezes mal estruturada e desordenada, não observando como a vegetação é distribuída. Um exemplo pode ser visto no Estado de São Paulo, que em 295 municípios, 26,44% seguiram um projeto de arborização, enquanto em 69,15%, a implantação da vegetação foi aleatória (MEIRA, 2010).

Esta falta de estruturação é um dos fatores mais limitantes para a manutenção e o principal motivo pelo qual existe a competição por espaço das árvores com as redes de distribuição de energia elétrica. Diante deste contexto, surge a necessidade de poda dessas árvores, para que seja permitida coexistência da vegetação, sem causar prejuízos à rede elétrica e ao bem estar dos transeuntes, quer seja no meio rural ou urbano.

O governo dos municípios, de acordo com a Constituição Federal Brasileira, Artigo 30, incisos I e V, têm por responsabilidade a gestão dos resíduos sólidos urbanos de origem domiciliar, comerciais e industriais de pequeno porte, assim como os resíduos coletados nos espaços públicos (CORTEZ et al., 2008). Segundo os mesmos autores, fica determinado a responsabilidade para os municípios a realização da poda, em que, as concessionárias de energia auxiliam para que não haja interferência na qualidade de seu serviço.

Neste procedimento pode-se gerar um grande volume de resíduos, sendo o problema decorrente não encontrar, em muitos casos, locais apropriados para a disposição final. Segundo levantamento realizado pelo Cenbio (Centro Nacional de Referência em Biomassa), no ano de 2006, de uma amostra de 16 municípios atendidos pelas principais concessionárias de energia elétrica do país, aproximadamente, 70% descartava os resíduos de poda em lixões ou aterros sanitários (CENBIO, 2007). Com esta prática a vida útil dos aterros é reduzida, devido à degradação lenta e do grande volume dos resíduos e o aumento do risco nas operações mecanizadas do aterro (MEIRA, 2010).

Apesar da NBR 10.004/2004 considerar os resíduos de poda como resíduos sólidos classe II, não perigosos segundo os impactos e riscos que podem causar, sabe-se

que a disposição destes em locais abertos como lixões ou aterros pode provocar uma série de problemas (CORTEZ et al., 2008). Estes se misturam a outros resíduos preexistentes (como por exemplo, substâncias perigosas e materiais biológicos biodegradáveis), que interagem química e biologicamente, como um reator, causando impactos sobre a qualidade do ar, do solo, e da água (CORTEZ et al., 2008).

Em levantamento realizado por Camilo et al. (2008) em 70 municípios do Estado de São Paulo foram observadas que a valorização do resíduo de poda representa cerca de 4% do total. Este resíduo é empregado na produção de composto orgânico, infraestrutura (buracos, mata burros etc.), controle de erosão, como fonte de energia em cerâmicas, olarias, granjas, na confecção de estacas, entre outros usos. A minimização e a valorização dos resíduos de poda significam a economia de recursos e de combustível e, conseqüentemente, dos gases poluentes, os quais deixarão de ser liberados pelos caminhões que transitam pelas cidades e rodovias para acessarem os aterros (MEIRA, 2010).

### **3.3. Resíduos de Embalagens Cartonadas**

#### **3.3.1. Definição de Embalagens Cartonadas**

As embalagens multicamadas, conhecidas também como embalagens cartonadas ou “longa vida” tem por função proteger seu conteúdo (alimentos líquidos, semilíquidos e viscosos) preservando-o por períodos prolongados. Por consequência, por não necessitarem de refrigeração, possuem a vantagem de diminuir a utilização de energia e gases refrigeradores, assim como menores quantidades de alimentos são desperdiçadas por deterioração (NEVES E GOMES, 2000), além de aperfeiçoar o transporte, resultado do baixo peso e ótimo aproveitamento do volume devido à geometria da embalagem.

A embalagem cartonada é constituída por seis camadas, sua composição é de: 75% de papel duplex (fibra longa), 20% de polietileno de baixa densidade e 5% de alumínio. De dentro para fora as camadas que constitui a embalagem cartonada são (CEMPRE, 2013):

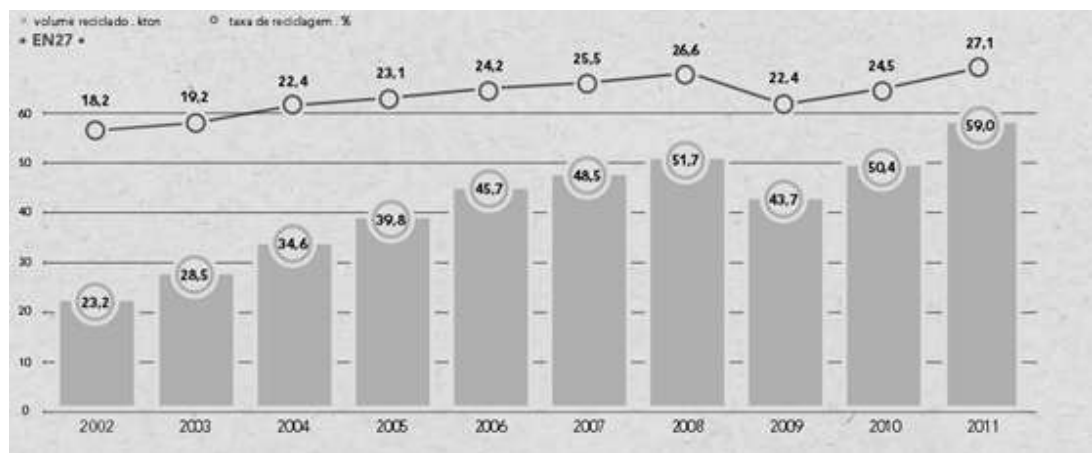
- 1- Camada constituída de polietileno, para proteção do produto;
- 2- Camada de adesão, necessária para o processo de laminação;



- 3- Folha de alumínio, barreira que impede o contato com luz, oxigênio e aromas;
- 4- Camada de adesão de polietileno, necessária no processo de laminação;
- 5- Camada de papel, que dá a estabilidade e resistência à embalagem;
- 6- Camada de polietileno, que protege o produto da umidade do exterior.

### 3.3.2. A reciclagem como opção de reaproveitamento

Para a embalagem cartonada o índice de reciclagem no Brasil está pouco acima dos 27%, valor que difere de país mais desenvolvido economicamente, como relatado por Galluzzi (2013), que relata que na Europa 34% do volume da produção é reciclado e nos Estados Unidos esse montante representa 8%. Ainda neste documento foi registrado que os países que lideram o ranking são Bélgica e Alemanha, por terem um sistema de coleta seletiva bem estruturada.



Fonte: Tetra Pak, 2013.

**Figura 2.** Taxa de reciclagem de embalagens pós-consumo no Brasil.

O material obtido através da reciclagem de embalagens longa vida têm sido empregado como matéria prima alternativa na produção de telhas e placas, para a indústria moveleira e construção civil (CERQUEIRA, 2013).

A reciclagem do polietileno e do alumínio pode ser realizada de três maneiras distintas. A primeira é a fabricação de placas e telhas por prensagem a quente. A segunda possibilidade é a produção de *pellets* (granulados) de polietileno e alumínio para peças diversas, como canetas, capas de caderno, pastas, pisos desmontáveis,

lixeiras, entre outros itens. O terceiro processo possível é a separação total das camadas de polietileno e alumínio por meio de uma tecnologia de separação térmica (TETRA PAK, 2013).

Estes processos de desagregação para a reciclagem são dispendiosos e demanda maquinário e adequações técnicas, portanto faz-se necessário uma alternativa mais viável para o aproveitamento desse material. Inclui como forma de reaproveitamento a briquetagem.

### **3.4. Briquetagem**

#### **3.4.1. Conceito**

A biomassa apresenta por frequência forma irregular, alta umidade, tamanho variado e baixa densidade, dificultando seu manuseio, armazenamento e transporte, e, desta maneira, a sua utilização na forma original. Uma alternativa bastante utilizada para a minimização destes problemas é a densificação da biomassa em *pellets*, briquetes ou cubos (KALIYAN e MOREY, 2009).

O processo de briquetagem teve origem na Europa, ainda no início do século XX (REIS et al., 2002). No Brasil, uma das primeiras iniciativas foi realizada no início da década de 60 na CSBN (Companhia Siderúrgica Belgo Mineira) (CARVALHO e BRINCK, 2004).

Este processo na aplicação de pressão em uma massa de partículas dispersas, com objetivo de torná-las um sólido geométrico compacto de alta densidade, com auxílio ou não de um aglutinante, sendo utilizado como fonte de geração de energia.

Os aglutinantes são utilizados quando o material a ser aglomerado não possui resistência à compressão e ao impacto, após a compactação. O resíduo de madeira contém lignina em sua composição o que dispensa a utilização de aglutinantes naturais ou químicos uma vez que este em temperatura acima de 100° C é plastificada atuando como uma “cola” entre as partículas durante a compactação.

### 3.4.2. Vantagens e Desvantagens

O processo de briquetagem apresenta uma série de vantagens, por exemplo:

- Aumento do conteúdo energético do material por unidade de volume (1,00m<sup>3</sup> de briquetes contêm pelo menos 5 vezes mais energia que 1,00m<sup>3</sup> de resíduos, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico médio destes materiais) (QUIRINO e BRITO, 1991);
- Baixo teor de umidade (8 a 15% base seca). A umidade menor torna-se o briquete mais resistente ao apodrecimento ou à degradação em relação aos resíduos na sua condição natural (QUIRINO, 2002). Isto ocorre devido à sua característica hidrofóbica que diminui a absorção de água, uma vez que a lignina impermeabiliza a superfície do briquete;
- Maior facilidade nos processos de transporte e estocagem;
- O reaproveitamento de resíduos é uma nova forma de geração de emprego.

Segundo Silva (2007), as desvantagens do uso dos briquetes são:

- Altos investimentos em equipamentos e gastos de energia no processo;
- Tendência destes em se desmancharem quando expostos à água ou submetidos à alta umidade;
- Dificuldade de obter resíduos sem contaminantes para a combustão;
- Alta carga tributária incidente na venda do produto e nos equipamentos utilizados.

### 3.4.3. Parâmetros de produção de briquetes

#### Mecanismo de compactação

O processo de compactação da biomassa pode ser dividido em duas principais categorias: compactação quente em alta pressão e compactação fria em baixa pressão.

Basicamente a compactação pode ser feita por prensa de pistão e extrusora de pressão. A extrusora de pressão pode ser de dois tipos: pressão cônica e pressão com molde aquecido (SILVA, 2007).

- Compactação por prensa de pistão

A prensa de pistão consiste em empurrar o material através de uma matriz cônica, num movimento contínuo de vai-e-vem, sendo a alimentação feita por um funil (CARNEIRO, 2012). O material é empurrado pelo pistão para o molde e devido à alta pressão ocorre uma fricção, resultando em um material que atinge uma temperatura entre 100 a 200 °C durante o processo. A prensa de pistão, em geral, é provida de um longo tubo que serve para a produção de briquetes cilíndricos de alta densidade (SILVA, 2007).

Os briquetes são quase sempre no formato cilíndrico, com diâmetros entre 5 a 10 cm (SILVA, 2007). O formado cilíndrico aumenta o contato do ar comburente e os briquetes durante a queima, além do atrito entre o pistão e a coluna de briquetagem ser menor durante o processo de briquetagem. Estas máquinas possuem uma capacidade que pode variar de 40 a 1500 kg.h<sup>-1</sup>, sendo que algumas máquinas podem chegar até 2500 kg.h<sup>-1</sup> (CARNEIRO, 2012). Entretanto devido às altas pressões, ocorrem problemas de desgastes na camisa do pistão, em decorrência do constante atrito ocorrido nas peças.

- Compactação por extrusora de pressão cônica

A briquetadeira tipo extrusora força o material a entrar comprimido na câmara e o molda através de uma matriz, produzindo briquetes de diâmetro de aproximadamente 2,5 cm; em seguida, uma faca corta o produto compactado no comprimento especificado. A extrusora de prensa cônica pode ser usada também para produzir

briquetes com diâmetros de 10 cm, sendo que para isso torna-se necessário aumentar a matriz (SILVA, 2007). Este tipo de briquetadeira produz briquetes com furo central e em processo contínuo. A potência deste modelo de briquetadeira é de 40 KW e produção média de 300 a 500 kg.h<sup>-1</sup> (CARNEIRO, 2012).

- Compactação por extrusora com molde aquecido

Nesse tipo de extrusora, o material é forçado a passar direto por uma parte estreita, cônica, levemente aquecida, com um molde de saída. Normalmente seu acionamento é elétrico. O formato do molde dos briquetes pode ser circular ou quadrado, sendo este último com os cantos arredondados. O orifício central serve para aumentar a densificação do material, devido à rotação da extrusora e eliminar a fumaça devido à pirolise parcial na superfície. Os briquetes apresentam de 5 a 10 cm de diâmetro. O material aquece acima de 200 °C durante o processo, sendo a maior parte do aquecimento causada pela existência do atrito entre as partículas. As máquinas possuem capacidade de briquetagem que pode variar de 50 a 800 kg.h<sup>-1</sup> (CARNEIRO, 2012).

#### Tamanho da partícula

As máquinas de compactação podem processar materiais in natura, mas dentro de determinadas faixas de granulometria. Para a maioria dos equipamentos, o comprimento máximo das partículas não deve ser superior que 25% do diâmetro do produto compactado (CARNEIRO, 2012). O processo de compactação de partículas pequenas acontece mais facilmente, pois ocorre uma maior interação entre elas devido a maior área de superfície de contato que provoca um aumento na densidade do material compactado (SILVA, 2007).

A compactação de partículas menores de materiais que contém lignina em sua constituição exige menor força durante a compressão. Entretanto, as partículas pequenas que não contém substâncias ligantes podem requerer pressões e temperaturas muito elevadas para serem compactadas (KOULLAS e KOUKIOS, 1987, TREZEK et al., 1981 citado por SILVA, 2007).

## Teor de umidade

A matéria prima deve estar suficientemente seca para evitar fraturas no briquete devido à expansão de gases, na maioria das vezes vapor d'água. Entretanto, para que a aglomeração das partículas tenha sucesso, é necessário que a umidade esteja compreendida entre 8 e 15% (CARNEIRO, 2012). A presença de água no material favorece a transferência de calor, promovendo o amolecimento da lignina e conseqüentemente a ligação entre as partículas durante a compactação. O teor de umidade também é importante para os processos com adição de aglutinante, pois a água ajuda na solubilização dos aglutinantes durante a mistura destas substâncias (CARVALHO e BRINCK, 2004).

Reis et al. (2002) comentam que os briquetes com valores de umidade acima de 15% podem comprometer a eficiência da sua combustão devido à relação entre poder calorífico e umidade. Além disto, o resíduo muito seco e o acima da umidade indicada prejudicam o empacotamento do material ou produzem um briquete sem estabilidade, desfazendo-se quando estocado ou transportado (QUIRINO et al., 2005).

## Densidade

Com a densificação dos resíduos aumenta-se a quantidade de energia gerada em relação as suas condições naturais, 1 m<sup>3</sup> de briquete é capaz de produzir cinco vezes ou mais energia que 1 m<sup>3</sup> de resíduo que lhe deu origem, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico dos mesmos (QUIRINO, 1991).

O processo de briquetagem diminui o volume da matéria prima, esta característica é muito importante para materiais de baixa densidade. Entretanto, materiais com densidade baixa demandam maior energia no processo de compactação durante a compressão do resíduo e materiais com densidade mais alta não seriam de interesse para briquetagem devido ao pouco ganho na densificação destes materiais. Uma solução possível para equilibrar as densidades de cada material seria a fabricação de briquetes através da mistura entre estes resíduos com densidades diferentes. A proporção de mistura entre os resíduos deve levar em consideração, além das

características energéticas e mecânicas do briquete, a menor geração de cinzas e a emissão de gases poluentes durante a combustão.

A densidade também é importante em relação à estocagem e ao transporte de materiais utilizados para geração de energia. A briquetagem transforma resíduos de baixa densidade em um produto densificado com alto potencial energético (QUIRINO et al., 2004).

#### Resistência à carga de ruptura

Resistência à carga de ruptura é um ensaio utilizado para determinar a resistência do briquete aos esforços compressivos, durante a sua estocagem e transporte. É determinada através da aplicação de força perpendicular na lateral do corpo de teste. A região lateral do briquete é a que apresenta menor resistência aos impactos resultante da aplicação de carga (GENTIL,2008). A força requerida durante o teste está relacionada com as forças de aderência entre as partículas do material que constituem o briquete (KALIYAN e MOREY, 2009). Este parâmetro é bastante significativo na avaliação da resistência do briquete ao manuseio, empilhamento, condições de trabalho, entre outros (CARVALHO e BRINCK, 2004).

#### Pressão e temperatura

A pressão é o mecanismo responsável pela compactação do material e pela transferência de energia na forma de calor para as partículas. Esse aquecimento ocorre devido o atrito entre as partículas durante a compactação. A pressão necessária para a produção de briquetes depende da temperatura em que eles precisam para ser compactados.

#### **3.4.4. Briquetagem de resíduos sólidos urbanos e agrofloretais**

Sendo a demanda por utilização de resíduos e de combustíveis renováveis crescentes, a briquetagem composta vem ao encontro de atender ambas as necessidades.

Semelhante aos critérios de produção dos briquetes simples, exceto pela inclusão da fase de mistura das matérias-primas, este possui como vantagem evitar a dependência por um único tipo de material (RODRIGUES et. al, 2002). Como também, é possível obter suas melhores características, por exemplo, o resíduo de madeira, que utilizado em combinação com outros resíduos possui a vantagem de ser renovável, ter baixo teor de cinzas e uma quantidade baixa de enxofre (AEAPEL, 1986).



#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa.

Os resíduos de poda urbana foram coletados no galpão de processamento de material da Subprefeitura de Santo Amaro – SP. As embalagens cartonadas foram obtidas através de coletas domiciliares de embalagens de produtos como leite, creme de leite e sucos industrializados em Viçosa – MG (Figura 3).



**Figura 3.** Embalagem cartonada pós-consumo seguido pela poda urbana, ambos triturados em moinho martelo.

O experimento foi conduzido em três etapas. Na primeira etapa foram determinadas as condições experimentais (massa e umidade) dos resíduos e as características físicas e químicas do mesmo. Na segunda etapa foram determinadas as

condições de briquetagem e produção de briquetes em diferentes proporções de resíduo de embalagem cartonada e poda urbana. E, na terceira etapa foi feita a caracterização física e mecânica dos briquetes visando à determinação da melhor proporção de mistura para produção dos briquetes.

#### **4.1. Caracterização dos resíduos**

##### 4.1.1. Teor de Umidade e Densidade a granel

A umidade dos diferentes resíduos, em base seca, foi determinada pelo método gravimétrico da estufa à temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até massa constante.

A densidade a granel dos resíduos de poda urbana e embalagem cartonada foram determinadas de acordo com a metodologia descrita por DIN EN 15103 (2010).

##### 4.1.2. Análise Química Imediata e Poder Calorífico Superior

A composição química imediata e poder calorífico superior dos resíduos foram utilizados amostras trituradas no moinho de facas. As amostras foram passadas em peneira de 0,42 mm (40 mesh) e retidas em peneira de 0,25 mm (60 mesh).

As percentagens de materiais voláteis, de cinzas e de carbono fixo foram determinadas de acordo com a ABNT 8112 (ABNT, 1986).

O Poder calorífico superior dos materiais foi determinado conforme a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 (1984) e pelas normas complementares ABNT NBR NM ISO 3310-1 (1997).

##### 4.1.3. Composição química elementar

A análise elementar da madeira foi realizada em duplicatas, conforme metodologia descrita por Paula et al. (2011). Utilizou-se uma massa equivalente a 2,0 mg ( $\pm 0,5$ ) de serragem seca à temperatura de  $105 \pm 2^\circ\text{C}$ , previamente selecionada em peneiras sobrepostas com malhas de 200 e 270 mesh, sendo utilizada a fração retida nessa última, em um porta-amostra de estanho. Em seguida, as amostras foram

depositadas no carrossel do equipamento da marca Elementar, modelo Vario Micro Cube CHNS-O, sendo realizada a análise de uma amostra por vez. Os gases necessários para a operação foram o hélio, que é o gás de arraste, e o oxigênio, gás de ignição. A temperatura do tubo de combustão, localizado no interior do equipamento no momento da queda da amostra do carrossel, foi de 1.150°C. Após a combustão, os gases foram transportados por arraste para o tubo de redução e seguiram para a coluna de detecção. Os elementos químicos (carbono, nitrogênio, hidrogênio e enxofre) foram identificados por meio de um detector de termocondutividade, onde cada elemento tem interação e pico específico. O percentual de oxigênio foi determinado por diferença entre a soma percentual dos elementos da composição elementar (CHNS), incluindo o teor de cinzas e 100, conforme sugerido no cálculo expresso como base seca por Cortez et al. (2008).

## **4.2. Produção dos briquetes**

### **4.2.1. Preparação das matérias-primas**

Para fabricação dos briquetes, primeiramente, os resíduos foram triturados em moinho martelo. Utiliza-se a fração que passou pela peneira com malha de 8 mm. Esta granulometria foi determinada em função das características da matriz da briquetadeira (coluna de 15 cm e diâmetro de 3 cm).

### **4.2.2. Condições de briquetagem**

A compactação das partículas foi realizada a uma pressão de 1500 PSI ( $10,34 \times 10^6 \text{N.m}^{-2}$ ), temperatura de 90° C, tempo de prensagem de 5 minutos e tempo de resfriamento de 5 minutos.

Ressalta-se que a pressão e temperatura de briquetagem foram estabelecidas análise preliminar, sendo a temperatura (90° C) de acordo com o ponto de fusão do plástico, parte constituinte das embalagens cartonadas.

A massa utilizada foi determinada em função da matriz da briquetadeira e do resíduo de menor densidade utilizando uma massa de 16 g de resíduo por briquete. A

proporção de embalagens cartonadas com o resíduo de poda em cada repetição foi de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 %.

Os briquetes foram produzidos por meio de uma briquetadeira laboratorial com prensa pistão, marca Lippel, modelo BL 32.

### **4.3. Propriedades físicas e mecânicas dos briquetes**

#### 4.3.1. Densidade relativa aparente

A análise de densidade aparente foi feita de acordo com a metodologia ASTM D167 (ASTM, 1973).

#### 4.3.2. Umidade

A umidade de equilíbrio higroscópico foi determinada após os briquetes terem sido acondicionados em câmara climática marca Marconi e modelo MA 835/UR com temperatura de 23°C e umidade relativa do ar de 65%, até massa constante.

#### 4.3.3. Taxa de retorno ou Taxa de Variação em Altura e Diâmetro

A taxa de retorno referente às variações das dimensões do briquete (altura e diâmetro) foi calculada a partir das medições de altura e diâmetro antes e após a climatização.

#### 4.3.4. Resistência mecânica

Para determinação da carga máxima durante a aplicação de força de compressão plana utilizou-se uma máquina de testes universal modelo LOSENHAUSEN. O procedimento de análise foi de acordo com a metodologia NBR 7190 – Anexo B (ABNT, 1997), uma vez que não se tem normas específicas para testes em briquetes.

#### 4.4. Densidade energética

A densidade energética dos briquetes foi obtida a partir do produto entre a densidade média de cada tratamento realizado e a porcentagem do poder calorífico superior do resíduo que constitui o briquete, isto é:

$$\text{Densidade energética} = \left( \left( \left( \frac{\% \text{poda urbana}}{100} \right) \times PCS_{\text{poda urbana}} \right) + \left( \left( \frac{\% \text{embalagem cartonada}}{100} \right) \times PCS_{\text{embalagem cartonada}} \right) \right) \times \text{densidade do briquete}$$

#### 4.5. Delineamento experimental

O experimento foi montado segundo um delineamento inteiramente casualizado com dez repetições em esquema fatorial, em que foram analisados os efeitos de 11 proporções de misturas entre os resíduos sobre a qualidade dos briquetes produzidos na pressão de 1500 PSI e temperatura de 90°C.

Os resultados foram analisados com auxílio de análise de regressão.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Caracterização dos resíduos

#### 5.1.1. Teor de Umidade e Densidade a granel

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios de umidade e densidade a granel dos resíduos estudados.

**Tabela 2.** Valores médios de umidade e densidade a granel dos materiais

Item	Material	
	Poda Urbana	Embalagens Cartonada
Umidade (%)	10,42 (2,85)	4,99 (4,35)
Densidade a granel (g.cm <sup>-3</sup> )	0,236 (2,85)	0,027 (4,88)

( ) coeficiente de variação

Pode-se observar que os resíduos de poda urbana apresentaram faixa de umidade adequada (compreendida entre 8 e 15%), enquanto as embalagens cartonadas obtiveram baixo teor de umidade.

Com relação às embalagens cartonadas, ressalta-se que mesmo a umidade do material sendo menor, tecnicamente foi possível a briquetagem basicamente pela mistura de materiais e pela presença do polietileno que agiu como um agente ligante.

Quanto à densidade, observa-se que o resíduo de poda urbana apresentou valores superiores àqueles apresentados pelas embalagens cartonadas pós-consumo, também demonstradas na Tabela 2.

Esta constatação implica na justificativa do uso da briquetagem do material menos denso (embalagem cartonada) visto que este procedimento diminui consideravelmente o volume da matéria prima, facilitando o transporte e armazenamento deste material. Entretanto, materiais com densidade baixa demandam maior energia no processo de compactação durante a compressão do resíduo, enquanto materiais com mais alta densidade não seriam de interesse para briquetagem devido ao limitado ganho na densificação destes materiais (RODRIGUES, 2010). Desta maneira, tecnicamente é interessante o uso de mistura dos diferentes resíduos para equilibrar as densidades de cada material o aproveitando o seu potencial energético.

### 5.1.2. Análise Química Imediata e Poder Calorífico Superior

Na Tabela 3 são mostrados os valores para as análises de Materiais Voláteis, Carbono Fixo, Cinza e Poder Calorífico Superior dos materiais analisados.

**Tabela 3.** Materiais Voláteis, Carbono Fixo, Cinza e Poder Calorífico Superior dos materiais analisados

Material	Materiais Voláteis	Carbono Fixo	Cinzas	Poder Calorífico Superior
	-----%-----			kcal/kg
Poda Urbana	77,87 (0,87)	16,90 (4,16)	5,23 (0,50)	5059 (0,70)
Embalagem Cartonada	85,06 (0,71)	9,94 (7,95)	5,00 (1,67)	4412 (0,69)

( ) coeficiente de variação

Os teores de materiais voláteis e carbono fixo na madeira estão de acordo com Brito e Barrichello (1982) que preconizaram, em termos gerais, teores de materiais

voláteis entre 75% a 85%, por serem estes responsáveis pela maior parte da geração de calor na combustão, e de carbono fixo entre 15% a 25%, por este ter queima mais lenta e referir-se à fração de material que se queima no estado sólido.

Com relação aos materiais voláteis das embalagens cartonadas, ao se comparar com que foi relatado por Werther et al. (2000), entende-se que a porcentagem acima de 80% a ignição tende a ser mais fácil como também sua queima, mas cuidados devem ser tomados para alcançar a combustão completa dos gases, assegurando a eficiência da combustão e as baixas emissões de CO e de hidrocarbonetos.

O teor de cinzas afeta negativamente o poder calorífico da biomassa. Exemplo visto em pesquisa feita com madeira, que demonstrou que tendo porcentagem de cinzas menor que 1%, tipicamente o poder calorífico estaria próximos a 4800 kcal / kg, e a cada 1% de aumento em cinza traduz-se numa diminuição de aproximadamente 50 kcal / kg (JENKINS et al., 1998).

O alto teor de cinzas verificado para embalagem cartonada se deve principalmente por ser este constituído por alumínio e outros compostos minerais presentes em sua composição e da poda urbana, decorrente de poeira e casca. Os valores encontrados podem ser caracterizados como alto, porém é aceitável.

### 5.1.3. Composição química elementar

Na Tabela 4 encontram-se os resultados obtidos para porcentagem de nitrogênio (N), carbono (C), hidrogênio (H), enxofre (S) e oxigênio (O) dos resíduos avaliados.

**Tabela 4.** Composição química elementar

Material	N	C	H	S	O
	------(%)-----				
Poda Urbana	2,26 (4,70)	41,16 (2,90)	5,41 (3,67)	0,20 (13,31)	45,75 (1,53)
Embalagem Cartonada	0,92 (4,61)	43,35 (0,29)	6,36 (0,42)	0,06 (16,23)	44,31 (0,10)

( ) coeficiente de variação

Nota-se que o conteúdo de C, H e O, foram próximos para a poda urbana e embalagem cartonada. Vale salientar que os elementos C e H são oxidados durante a



combustão através de reações exotérmicas, formando  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  contribuindo positivamente para o valor calorífico e O contribui negativamente (OBERNBERGER, et al, 2006).

O enxofre também libera energia durante a queima, embora seja um inconveniente devido à corrosão das caldeiras e a formação de gases poluentes.

O teor de nitrogênio atingiu valor mais baixo para as embalagens cartonadas e mais elevado para os resíduos de poda de árvores. O nitrogênio compete com o carbono para formar os compostos nitrogenados oxidados diminuindo a contribuição energética do carbono (BORGES et al., 2008). Porém, o teor de nitrogênio é quase totalmente convertido em  $\text{N}_2$  gasoso e monóxido de nitrogênio, desta forma tendo baixa formação de óxidos. Isto se deve a eficiência da combustão de grande parte dos fornos de biocombustíveis sólidos, sendo, no caso da biomassa lenhosa, apenas uma pequena quantidade de N é incorporada nas cinzas (OBERNBERGER et al., 2006).

## 5.2. Produção dos briquetes

Na figura 4 pode ser verificado os briquetes resultantes dos tratamentos, sendo a proporção de embalagens cartonadas com o resíduo de poda em cada repetição foram de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 %, em que T1 é o tratamento correspondente a 0% de embalagem cartonada pós-consumo e T11, 100%.

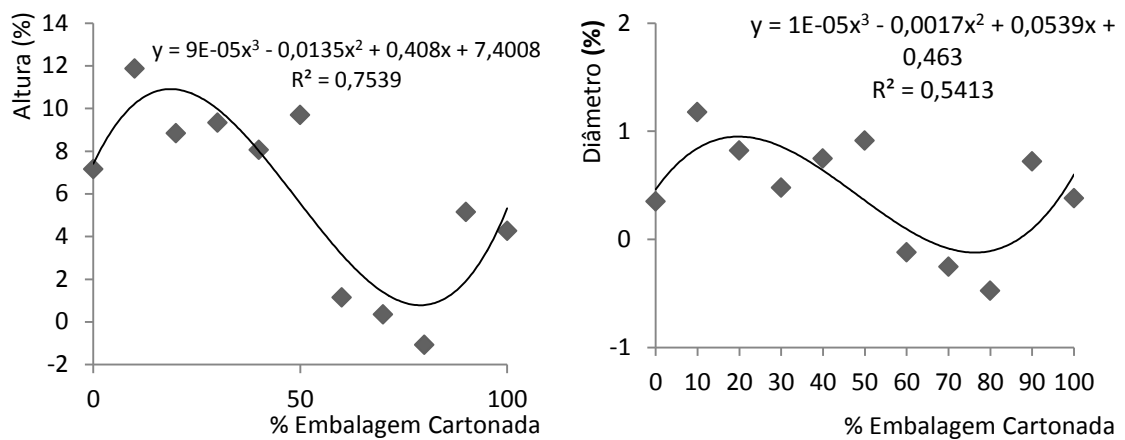


**Figura 4.** Tratamentos com acréscimo de embalagens cartonadas em 10% de T1 para T11.

### 5.3. Propriedades físicas e mecânicas dos briquetes

#### 5.3.1. Taxa de Variação em Altura e Diâmetro

Inicialmente, é necessário ressaltar que as grandezas para a taxa de retorno em altura e diâmetro são diferentes, sendo que a tendência de aumento no diâmetro é muito menor que em altura visto o próprio processo de compactação e o formato da câmara de compressão (Figura 5).



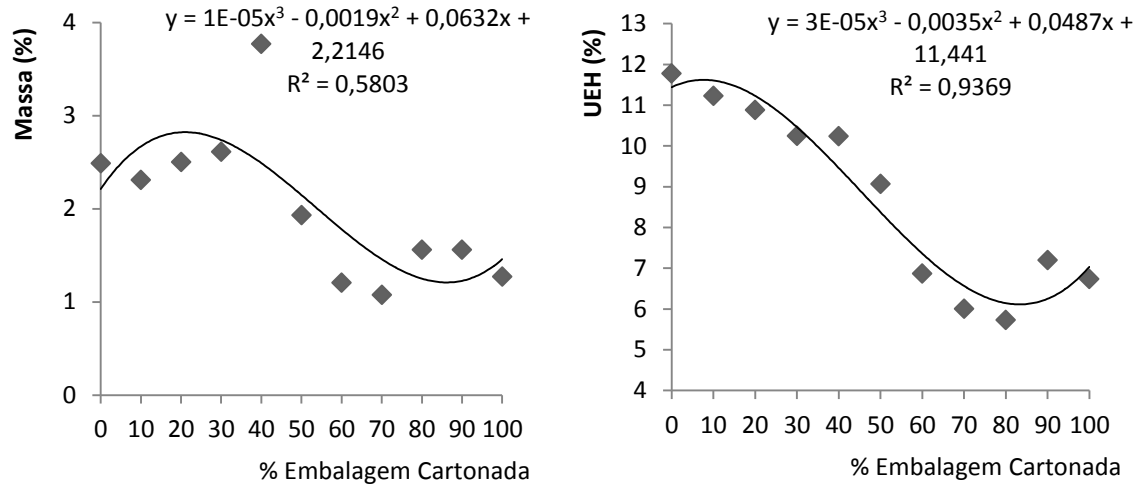
**Figura 5.** Taxa de retorno em altura e em diâmetro em função da porcentagem de resíduos de embalagens cartonadas adicionadas ao briquete.

Vilas Boas (2011) afirma que a taxa de variação em altura e diâmetro dos briquetes após o processo de compactação afeta o armazenamento e o transporte, também interferindo diretamente no planejamento de utilização dos briquetes, pois essa variável tem relação direta com a resistência.

Observa-se que houve uma diminuição dos valores tanto para altura quanto para diâmetro a medida que aumenta o percentual de resíduos de embalagem cartonada em comparação com os demais teores. Esse fato pode estar relacionado com a própria mistura de materiais, onde a presença da lignina advinda dos resíduos de poda em quantidade menor, porém suficiente para que favoreça a melhor compactação dos resíduos de embalagens, são menos densos e mais fáceis de compactar.

### 5.3.2. Massa e Equilíbrio Higroscópico

No figura 6 é apresentado a variação de massa após o condicionamento dos briquetes e a umidade de equilíbrio higroscópico dos mesmos.



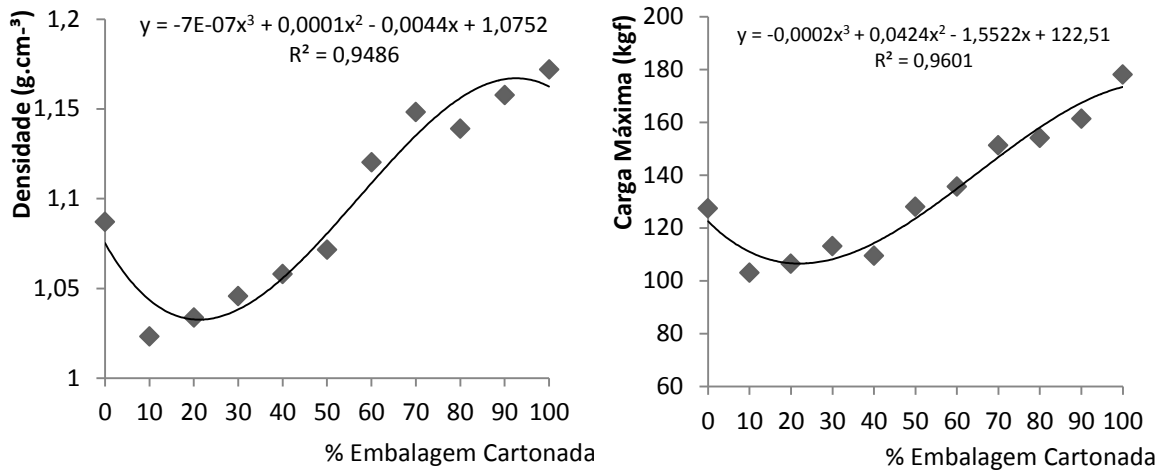
**Figura 6.** Taxa de variação da massa dos briquetes e umidade de equilíbrio higroscópico (UEH) dos briquetes em função da porcentagem de resíduos de embalagens.

O aumento de massa pode, de certa forma, ser interpretado como absorção de água, o que está diretamente relacionado com a umidade de equilíbrio higroscópico dos briquetes obtido após o condicionamento. Pois, à medida que era adicionado embalagem cartonada a composição do briquete ocorria a redução da massa, sendo mais acentuada quanto maior a proporção desta. Portanto quanto menor a porcentagem de embalagem cartonada pós-consumo menor agregação das partículas, proporcionando compactação insatisfatória do briquete.

Já com relação à umidade de equilíbrio observa-se uma tendência de diminuição da umidade com a elevação da porcentagem de embalagem cartonada adicionada a composição do briquete, possivelmente devido a componentes hidrofóbicos presentes nas embalagens. Os valores obtidos se apresentaram entre 5 e 12% e são considerados satisfatórios para a utilização como fonte de energia.

### 5.3.3. Carga Máxima e Densidade

A seguir, no figura 7, são apresentados os valores de densidade aparente e carga máxima de ruptura dos briquetes em relação à porcentagem de embalagens cartonadas adicionadas a mistura para a briquetagem.

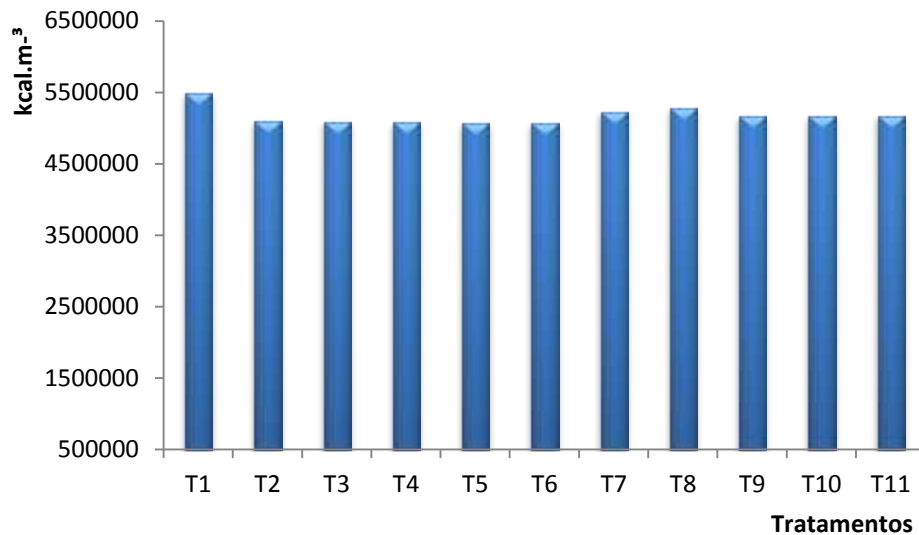


**Figura 7.** Densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>) e carga máxima (kgf) em relação à porcentagem de embalagem cartonada adicionada a composição do briquete.

Verifica-se que há uma tendência de aumento da densidade dos briquetes em função do aumento da porcentagem de resíduos de embalagens, assim como o aumento da resistência à compressão, descrita pela carga máxima. Isso se deve, provavelmente, à baixa densidade, ao menor tamanho das partículas e por sua vez a maior superfície específica, pois a adição de resíduos de embalagens pode proporcionar uma maior compactação dos briquetes devido às características físicas das suas partículas, tornando-os mais resistentes sob aplicação de força.

#### 5.4. Densidade Energética

Os valores médios de densidade energética obtida pela média das densidades energéticas são apresentados na figura 8.



**Figura 8.** Densidade energética dos briquetes.

Como pode ser observado, os valores foram próximos. Caracterizando a viabilidade técnica de todos os tratamentos. Lima et al. (2011) encontraram densidade energética para *Eucalyptus benthamii* de 2220000 kcal m<sup>-3</sup>, inferior à encontrada neste trabalho para todos os briquetes produzidos. Esse resultado é um indicativo do potencial energético dos biocombustíveis sólidos analisados.

## 6. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, foi possível concluir:

- A produção de briquetes a partir da mistura de resíduos de poda urbana e embalagens cartonadas são viáveis tecnicamente;
- A adição crescente de resíduos de embalagens cartonadas a composição dos briquetes faz com que a taxa de retorno (altura e diâmetro) e variação de massa diminua;
- A umidade de equilíbrio higroscópico de todos os tratamentos apresentou compatível com as necessidades para uso;
- A densidade aparente e a resistência à compressão foram maiores para as maiores proporções de resíduos de embalagens agregado aos briquetes;
- A melhor densidade energética para briquetes mistos foi para os briquetes produzidos com 30% poda e 70% embalagem cartonada, sendo ele o melhor tratamento;
- Tecnicamente todos os briquetes produzidos são viáveis para uso energética.

## 7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 8112 – Análise química imediata do carvão vegetal**. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7190 – Anexo B – Métodos de ensaio para determinação das propriedades das madeiras para projetos de estrutura – resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR NM ISO 3310-1, Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação. Parte 1–Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico**. 12p. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004 - Resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2.ed., 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: Determinação do poder calorífico superior**. 13 p. 1984.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2012**. São Paulo, 2012. Disponível em:

<<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>. Acesso em 19/06/2013>.

AEAPEL – ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS AGRÔNOMOS DE PELOTAS.  
**Perspectivas e alternativas da agropecuária e agroindústria do município de Pelotas.** Pelotas: Companhia Rio-Grandense de Artes Gráficas – CORAG, 573 p.1986.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D167** –  
**Determination of true density, apparent relative density and porosity.** Philadelphia, USA, 1973.

BIDONE, F. R. A., POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos.** 1ª ed, v. 1  
Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Carlos, 1999.

BORGES, F., SELLIN, N., MEDEIROS, S. H. W. Caracterização e avaliação de lodos de efluentes sanitário e industrial como biomassa na geração de energia. **Ciência & Engenharia**, v. 17, n.1/2, p. 27-32, jan/dez, 2008.

BRAGA, M. C. B., DIAS, N. C. **Gestão de resíduos sólidos urbanos.** 1 v. Curitiba, 2008.

BRASIL. [Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010]. **Política nacional de resíduos sólidos** [recurso eletrônico]. – 2. ed. – Brasília : Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012. 73 p. – (Série legislação ; n. 81). Disponível em:  
<[http://www.saude.rs.gov.br/upload/1346166430\\_Lei%2012.305\\_02082010\\_politica\\_residuos\\_solidos.pdf](http://www.saude.rs.gov.br/upload/1346166430_Lei%2012.305_02082010_politica_residuos_solidos.pdf)>.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis.** In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., 1982, São Paulo. São Paulo, 1982.p. 101-137.

CAMILO, D. R.; ESPADA, A. L. V.; MARTINS, J. R. F. **Caracterização do sistema de gestão dos resíduos de poda urbana nos municípios do Estado de São Paulo.** Piracicaba. 2008. 30p. Relatório de Estágio Supervisionado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CARNEIRO, A. de C. O. **Aproveitamento de resíduos agrícolas e florestais para produção de briquetes para geração de energia.** Viçosa, 2012.



CARVALHO, E. A., BRINCK, V. Briquetagem. Comunicação técnica elaborada para a 4ª edição do livro. In: LUZ, A. B. da, SAMPAIO, J. A., ALMEIDA, S. L. M. de. (CETEM – Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia).

**Tratamentos de minérios.** c. 15. p. 603-636. Rio de Janeiro, 2004.

CEMPRE. **Relatório Sócio ambiental 2004-2005.** Disponível em <<http://www.cempre.org.br/download/socioambientalport.pdf>> Acessado em 01 de 04 de 2013.

CENBIO. **Fortalecimento Institucional do Centro Nacional de Referência em Biomassa.** São Paulo, 2007.

CERQUEIRA, M. H. de. **Placas e telhas produzida a partir da reciclagem do polietileno/ alumínio presente nas embalagens TETRA PAK.** Disponível em: <[http://tapumeecologicosp.net/userfiles/laudo/laudo\\_de\\_durabilidade\\_tetra\\_pak\\_02.pdf](http://tapumeecologicosp.net/userfiles/laudo/laudo_de_durabilidade_tetra_pak_02.pdf)>. Acesso em: 05 abr. 2013.

COMITÊ DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA. Resíduo sólido urbano. **Recuperação Energética,** 2013.

CORTEZ, C. L., GRISOLI, R., GAVIOLI, F., COELHO, S. T., & CARMELO, S. (2008). **Alternativa Sustentável para utilização de resíduos de poda provenientes da manutenção de redes de distribuição de energia elétrica.** Acesso em 04 de maio de 2013, disponível em:

<<http://cenbio.iee.usp.br/download/publicacoes/podaagrener04jun2008.pdf>>

CORTEZ, L. A. B., LORA, E. E. S., GÓMEZ, E. O. Caracterização da biomassa. In: GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia.** Campinas, Editora da Unicamp, p. 31-62, 2008.

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

GALLUZZI, T. **Tetra Pak Brasil, referência mundial em reciclagem.** Disponível em: <[http://www.revistatecnologiagrafica.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=4238:tetra-pak-brasil-referencia-mundial-em-reciclagem&catid=99:entrevistas&Itemid=182](http://www.revistatecnologiagrafica.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=4238:tetra-pak-brasil-referencia-mundial-em-reciclagem&catid=99:entrevistas&Itemid=182)>. Acesso em: 10 maio 2013.

GENTIL, L. V. B. **Tecnologia e economia do briquete de madeira**. 2008. 156 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal de Brasília, Brasília.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos**. p. 77. Brasília, 2012.

JENKINS, B.M., BAXTER, L.L., MILES Jr., T.R., MILES, T.R., 1998. **Combustion properties of biomass. Fuel Process. Technol.** 54, 17-46

KALIYAN, K., MOREY, R. V. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. **Biomass & Bioenergy**. v. 33, n. 3, p. 337–359, USA, 2009.

KORKMAZ, A.; YANIK, J; BREBU M.; VASILE C.. Pyrolysis of the tetra pak. **Waste Management**. 2009.

KOULLAS, D.P. AND E.G. KOUKIOS. 1987. **Briquetting of Wheat Straw**. Paper Presented at FAO/CNRI First Workshop on Handling and Processing of Biomass for Energy, Hamburg, FRG, 14-15 September.

LIMA, E. A., SILVA, H. D., LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 31, n. 65, p. 09-17, 2011. doi:10.4336/2010.pfb.31.65.09.

MEIRA, A. M. de. **Gestão de resíduos da arborização urbana**. 2010. 178 f. Dissertação (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MENEGHETTI, G. I. P. **Estudo de dois métodos de amostragem para inventário da arborização de ruas dos bairros da orla marítima do município de Santos, SP**. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Ijuí, 2003.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **4ª Conferência Nacional do Meio Ambiente Resíduo Sólido**. Disponível em:

<<http://www.unisite.ms.gov.br/unisite/control/ShowFile.php?id=133188>>. Acesso em: 20 maio 2013.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, Setembro 2011.

NEVES, F. L., GOMES, R. Análise do Ciclo de Vida. **E-Flash Nestlé** – Edição Especial. Março 2000

OBERNBERGER, I., BRUNNER, T., BÄRNTHALER, G. Chemical properties of solid biofuels - significance and impact. **Biomass and Bioenergy**, Vol. 30, No. 11 (Nov 2006), pp. 973-982, ISSN 0961-9534. 2006.

ONOFRE, F. L. **Estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares**. 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

PACHECO, J. R.. **Análise da cadeia da reciclagem**. 2012. 30 f. Dissertação (Graduação) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.

PAULA, L. R., TRUGILHO, P. F., NAPOLI, A., BIANCHI, M. L. Characterization of QUIRINO, W. F. **Briquetagem de resíduos ligno-celulósicos**. Circular técnica do Laboratório de Produtos Florestais – LPF, v. 1, n. 2, p. 69-80, Brasília, 1991.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais – LPF, Brasília, 2002, 35 p.

QUIRINO, W. F., VALE, A. T. do, ANDRADE, A. P. A. de, ABREU, L. S. A., AZEVEDO, A. C. dos S. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**. Edição n. 89, p. 100-106, abr. 2005.

QUIRINO, W. F., VALE, A. T. do, ANDRADE, A. P. A. de, ABREU, V. L. S., AZEVEDO, A. C. dos S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa e Energia**. v. 1, n. 2, p. 173–182, abr/jun 2004.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Disponível em: <<http://mundoflorestal.com.br/arquivos/indice.pdf>>. Acesso em: 15 de maio de 2013.

REIS, B. de O., SILVA, I. T. da, SILVA, M. O. da, ROCHA, B. R. P. da. Produção de briquetes energéticos a partir de caroço de açaí. In: Encontro Energético Meio Rural. Ano 4, Campinas, outubro de 2002. **Anais**. CD AGRENER.

residues from plant biomass for use in energy generation. **Revista Cerne**, v. 17, n. 2, p.237-246, 2011.

REVEILLEAU, A. C. A. A. Política Nacional de Resíduos Sólidos: Aspectos da responsabilidade dos geradores na cadeia do ciclo de vida do produto. **Revista Internacional de Direito e Cidadania**, Erechim, n. 10, p. 163-174. Junho 2011.

RODRIGUES, L. D. F. O. Saneamento e cooperativas de catadores de materiais recicláveis. **Revista do Curso de Direito**, v. 1, n. 1, Janeiro-Julho 2011.

RODRIGUES, L. D., SILVA, I. T da, ROCHA, B. R. P. da, SILVA, I. M. O. da. Uso de briquetes compostos para produção de energia no estado do Pará. In: Encontro Energético Meio Rural. Ano 4. 2002, Campinas. **Anais**. Campinas: AGRENER, 2002. 1 CD.

RODRIGUES, V. A. J. **Valorização energética de lodo biológico da indústria de polpa celulósica através da briquetagem**. 2010. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

SCHALCH, V. **Análise comparativa de dois aterros sanitários semelhantes e correlações dos parâmetros do processo de digestão anaeróbia**. 1992. 219 p., Tese (Doutorado), Departamento de Hidráulica e Saneamento - Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Paulo. 2001.

SILVA, C. A. da. **Estudo técnico-econômico da compactação de resíduos madeireiros para fins energéticos**. 2007. 68 p. Dissertação (Mestrado em Planejamentos de Sistemas Energéticos) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

TABATABAI, M.A., BREMNER, J.M. An alkaline oxidation method for determination of total sulphur in soils. **Soil Science Society American Proceeding**, v.34, p.62-65, 1970.

TETRA PAK. **Relatório de Sustentabilidade da Tetra Pak Brasil**. Disponível em: <[http://www.tetrapak.com/br/SiteCollectionDocuments/Tetra%20Pak\\_Relat%C3%B3rio%20de%20Sustentabilidade%202010%202011.pdf](http://www.tetrapak.com/br/SiteCollectionDocuments/Tetra%20Pak_Relat%C3%B3rio%20de%20Sustentabilidade%202010%202011.pdf)>. Acesso em: 09 jun. 2013.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p.249-260, 2012.

TREZEK, G.J., SAVAGE, G.M., JONES, D.B. **Fundamental considerations for Preparing Densified Refuse Derived Fuel**. Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio 45268.1981.

VILAS BOAS, M. A. **Efeito do tratamento térmico da madeira para produção de briquetes**. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

WERTHER, J., SAENGERA M., HARTGEA E. U., OGADA T., SIAGIB Z. Combustion of agricultural residues. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 26, p. 1-27, 2000.