

**UNIVERSIDADE JOSE DO ROSARIO VELLANO - UNIFENAS**  
**OBERDAN EVERTON ZERBINATTI**

**BRIQUETAGEM DE RESÍDUOS DA CULTURA DE CAFÉ CULTIVADO NO**  
**SISTEMA SAFRA ZERO**

**Alfenas – MG**  
**2012**

**OBERDAN EVERTON ZERBINATTI**

**BRIQUETAGEM DE RESÍDUOS DA CULTURA DE CAFÉ CULTIVADO NO  
SISTEMA SAFRA ZERO**

Monografia apresentada á Universidade José do Rosário Vellano, como parte das exigências do Curso de Sistema de Produção na Agropecuária para a conclusão do curso de Mestrado.

Orientador: Prof. Adriano Botolotti da Silva

**Alfenas – MG**

**2012**

Zerbinatti, Oberdan Everton

Briquetagem de resíduos da cultura de café conduzido no sistema safra zero/.—Oberdan Everton Zerbinatti.-- Alfenas, 2012.

33f.

Orientador : Prof. Dr Adriano Bortolotti da Silva

Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção na Agropecuária) –Universidade José do Rosário Vellano.

1.Briquete 2.Aproveitamento de resíduo 3. Biomassa

I. Título

CDU: 633.73(043)

A todos que de algum modo me incentivaram e me auxiliaram e acompanharam durante a realização deste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos amigos que me incentivaram a nunca desistir desta caminhada fazendo-me ver que nunca é tarde para ser feliz.

À minha família que sempre esteve pronta a ajudar quando solicitado, em especial minha filha Raquel, meu filho Dan e minha nora Evelin.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas, IF Sul de Minas Campus Inconfidentes, pela ajuda de custos e em especial à Diretoria da Instituição, por dar a oportunidade de cursar o mestrado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Adriano Bortolotti da Silva (UNIFENAS), pela amizade, atenção, disponibilidade, dedicação e orientação, no desenvolvimento deste trabalho de mestrado. A todos os professores do curso de mestrado da área Sistema de Produção na Agropecuária da UNIFENAS, pelos ensinamentos.

Ao colega Odilon França de Oliveira Responsável Técnico pelo Laboratório de Bromatologia do IF Sul de Minas, pelas análises realizadas. Aos colegas José Carlos Costa, Julio César Almeida e Luiz Eduardo Bombachi pela amizade e ajuda na coleta de material para a execução e organização dos experimentos realizados.

Ao proprietário da Fazenda Mangará, o amigo Francisco dos Reis Guimarães Filho, que não só emprestou a máquina Papa Galhos, para realizar a colheita na Fazenda do IF Sul de Minas, como também colocou sua propriedade e funcionários à disposição para coleta de material em suas lavouras.

Aos colegas Professores do IF Sul de Minas, José Hugo e Carlos Cezar pela atenção dada quando solicitados. Ao colega Wilson José Pereira da Silva Coordenador Geral de Produção e Pesquisa (CGPP), do IF Sul de Minas, por disponibilizar veículos e funcionários para coletar material nas fazendas de café.

A Empresa Icatu Comércio Exportação e Importação Ltda. Por colocar à disposição briquetadeira e funcionários para a confecção dos briquetes.

Ao amigo Angelo Buralli, torneiro mecânico, por prontificar e desenvolver dispositivos opcionais para serem testados na confecção de briquetes.

À colega de trabalho e de mestrado Professora Roberta Bonamichi Guidi pelo incentivo e companheirismo nas viagens para realização deste curso.

Agradeço ainda a todos aqueles que me auxiliaram, mas que por um lapso de memória, possa ter ficado fora desta citação.

“É justamente a possibilidade de realizar um sonho que torna a vida interessante.”

Paulo Coelho

## RESUMO

ZERBINATTI, Oberdan Everton. **Briquetagem de Resíduos de Café Cultivado no Sistema Safra Zero**. Orientador: Adriano Bortolotti da Silva. Alfenas: UNIFENAS, 2012. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção na Agropecuária).

A biomassa vegetal é todo o material advindo de fotossíntese, processado ou não por seres vivos, detém desvantagens no que concerne a sua forma irregular, baixa densidade e alta umidade. Para solucionar esta questão propõe-se o processo de briquetagem que consiste na densificação energética da biomassa em um combustível sólido de alto poder calorífico denominado briquete. Neste contexto, a cafeicultura que é uma das maiores commodities brasileira e produzem biomassa em quantidades diferentes dependendo dos tratamentos culturais como tipos de podas incluindo o que chamamos de Sistema Safra Zero de condução da lavoura, onde este sistema se baseia em dois tipos de podas, ou seja, é feito o decote do cafeeiro a uma altura variando de 1,50 a 1,80 metros e o esqueletamento dos ramos plagiotrópicos nos quatro lados da planta a uma distância de 20 cm do tronco. A principal característica do esqueletamento é a possibilidade de renovar e aumentar o número de ramos produtivos por planta, potencializando a safra posterior. O presente trabalho teve por objetivo investigar a viabilidade de produção de briquetes onde foram utilizadas diferentes porcentagens de restos culturais obtidos no sistema safra zero como, galhos, folhas e palha, todo o material fresco colhido foi moído deixando partículas variando entre 5 a 10 mm, posteriormente colocado para secagem natural à sombra em galpões até que atingiram o teor de umidade 12%. Sendo passado pelo processo de briquetagem obtiveram-se briquetes de poder calorífico próximo ao da lenha natural. Podendo substituir a madeira como combustível.

Palavras-chave: Safra zero. Aproveitamento de Resíduo. Biomassa.

## ABSTRACT

ZERBINATTI, Oberdan Everton. **Zero Harvest Grown Coffee Crop Waste Briquetting**. Leader: Adriano Bortolotti da Silva. Alfenas: UNIFENAS, 2012. Dissertation (Master's degree in Agricultural Production System).

Plant biomass is all material resulting from photosynthesis, whether or not processed by living beings, features disadvantages as for its irregular shape, low density and high humidity. As a solution to such problem a process consisting of biomass energy densification in a high calorific power solid fuel called referred to as "briquetting" is proposed. In this context coffee, which is one of Brazil's largest commodities and produces biomass in different amounts depending on cultural practices such as pruning, including what we refer to as Zero Harvest System of crop conduction in which such system is based on two types of pruning, one of which consisting of coffee crop collar done at a height ranging from 1.5 to 1.8 meters and primary branch skeletons on the four sides of the plants set 20 cm from the trunk. The main feature of the skeleton is the possibility of its renewing itself as well as increasing the number of productive branches per plant, thus increasing the next harvest. This present work aimed to investigate the feasibility of briquette production. Different percentages of crop residues obtained from Zero Harvest such as branches, leaves and straw were used. All the fresh material was grinded to 5-10mm particles and laid to natural under-shade drying in sheds until they reached 12% moisture content. From their undergoing the briquetting process near natural-wood calorific value briquettes which can even replace wood as fuel were obtained.

Keywords: Zero Harvest. Utilization of Waste. Biomass.

## SUMÁRIO

	Resumo.....	I
	Abstract .....	II
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>01</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEORICO .....</b>	<b>03</b>
<b>2.1</b>	<b>Agroenergia .....</b>	<b>03</b>
<b>2.2</b>	<b>Briquetagem .....</b>	<b>05</b>
2.2.1	Definição e Histórico .....	05
<b>2.3</b>	<b>Tecnologia da Briquetagem .....</b>	<b>07</b>
<b>2.4</b>	<b>Cafeicultura e Produção de Biomassa .....</b>	<b>09</b>
2.4.1	Sistema Safra Zero de Condução da Lavoura Cafeeira .....	09
<b>3</b>	<b>MATERIAL E METODOS.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>Local .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2</b>	<b>Descrição da Lavoura .....</b>	<b>11</b>
<b>3.3</b>	<b>Produção de Briquetes .....</b>	<b>12</b>
<b>3.4</b>	<b>Tratamentos .....</b>	<b>14</b>
<b>3.5</b>	<b>Avaliações .....</b>	<b>14</b>
3.5.1	Determinação da Densidade .....	14
3.5.2	Análise Elementar .....	14
3.5.3	Análise Química Imediata .....	15
<b>3.6</b>	<b>Análise estatística.....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADO E DISCUSSÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>24</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado referência mundial na produção de agroenergia. O uso de produtos agrícolas representa a segunda principal fonte de energia do país, sendo o berço mundial da biomassa, portanto tem enorme potencial para a geração de energia através do uso de resíduos agrícolas.

Historicamente, programas de sucesso como o uso do etanol e do biodiesel atraem a atenção do mundo inteiro por serem alternativas econômicas e ecologicamente corretas em substituição ao uso de combustível fóssil. A biomassa vegetal, ou seja, todo o crescimento advindo de processos fotossintéticos, processado ou não por seres vivos, produz material que pode ser utilizado como recurso energético. Entretanto, o emprego destes materiais advindos do crescimento vegetal apresenta desvantagens no que concerne a sua forma irregular, baixa densidade e alta umidade, aliada a isto, estas características dificultam e encarecem seu transporte armazenamento e manuseio, limitando seu uso como energético na *forma in natura*.

As questões de sustentabilidade tornaram-se cruciais no mundo e muitos esforços estão sendo feitos para abordar questões como em todos os campos, em termos de impactos ambientais, o consumo de recursos naturais e energéticos (NAKA *et al.*, 2000).

A briquetagem é uma alternativa viável para reduzir o volume da massa vegetal por consistir na densificação energética da biomassa em um combustível sólido de alto poder calorífico denominado briquete. Com este processo, qualquer tipo de material pode ser prensado em diversos formatos, como forma de substituir a lenha natural em indústrias: alimentícia, metalúrgica, química, cerâmica ou outras que utilizem fornos para alimentar caldeiras ou para secagem. A queima de biomassa reciclável se inclui entre as alternativas mais econômicas e ambientalmente corretas, sendo uma energia renovável e sustentável, que atende os preceitos do Protocolo de Kyoto.

Nos últimos anos, o interesse mundial pela compactação da biomassa tem aumentado utilizando-se novas técnicas de beneficiamento de resíduos para a utilização como fonte de energia. O processo, entretanto, não é uma inovação recente. A primeira notícia sobre compactação de biomassa ocorreu por volta de 1880. Um relato foi publicado em uma revista de mercado, em 1865, sobre combustíveis na forma de briquetes (REED & BRYANT, 1978).

Neste contexto, a cafeicultura que é uma das maiores commodities brasileira, produz biomassa em quantidades diferentes dependendo dos tratamentos culturais como tipos de podas, incluindo o que chamamos de Sistema Safra Zero de condução da lavoura, onde este sistema se baseia em dois tipos de podas, ou seja, é feito o decote do cafeeiro a uma altura variando de 1,50 a 1,80 metros e o esqueletamento dos ramos plagiotrópicos (horizontais) nos quatro lados dos pés de café a uma distância de 20 cm do tronco. A principal característica do esqueletamento é a possibilidade de renovar e aumentar o número de ramos produtivos por planta, potencializando a safra posterior, já que a lavoura em produção terá que produzir o dobro, para compensar a lavoura que está podada (OLIVEIRA *et al.*, 2001), e ainda gera grande volume de massa vegetal que normalmente é deixada sobre o solo como forma de incorporação de matéria orgânica.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a viabilidade da produção de briquetes, bem como a sua caracterização física, química e energética, a partir do processo de briquetagem de galhos, folhas, obtido pelo sistema de cultivo safra zero, e até mesmo a casca resultante do beneficiamento do café em coco.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Agroenergia**

O Plano Nacional de Agroenergia sistematiza as estratégias e ações para organizar e desenvolver propostas de pesquisa, desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologia, visando garantir a sustentabilidade e competitividade para as cadeias produtivas da agroenergia (SAPCANA – MAPA).

Os resíduos resultantes de várias explorações agrícolas são caracterizados por dimensões variadas que apresenta alta umidade, baixa densidade e grande volume, o que demanda grandes áreas para a sua estocagem. A utilização de resíduos agrícolas oriundos da agropecuária pode ser uma das formas viáveis na produção de energia renovável. (EMBRAPA, 2009).

Segundo Vale & Gentil (2008), o modelo energético brasileiro, inicialmente sustentado pela lenha, modificou-se ao longo das décadas atingindo, atualmente, 41,06% da oferta interna bruta de energia representada pelos combustíveis renováveis (biomassa e eletricidade). A participação dos resíduos no balanço energético ainda é pequena, mas é significativo o crescimento ao longo dos últimos anos

O Plano Nacional de Agroenergia (PNA) objetiva, a partir da análise da realidade e das perspectivas futuras da matriz energética mundial, organizar uma proposta de Pesquisa, Desenvolvimento, Inovação e de Transferência de Tecnologia, com vistas a conferir sustentabilidade, competitividade e maior equidade entre os agentes das cadeias de agroenergia, em conformidade com os anseios da sociedade, as demandas dos clientes e as políticas públicas das áreas energética, social, ambiental, agropecuária e de abastecimento. (BRASIL/MAPA PNA, 2005a).

O objetivo principal da agroenergia no Brasil é expresso na apresentação executiva do PNA, como também, de forma mais específica, no seu capítulo 3 o qual trata da Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) e Transferência de Tecnologia (TT) em Agroenergia:

Com isto, PNA visa desenvolver e transferir conhecimento e tecnologias que contribuam para a produção sustentável da agricultura de energia e o uso racional da energia renovável, visando à competitividade do agronegócio brasileiro e o suporte às políticas públicas. (BRASIL/MAPA PNA, 2005b).

A agroenergia obtida a partir de biomassa renovável pode ser uma alternativa viável no sentido de se diminuir a exploração de florestas, sendo que seu uso emprega

de forma eficiente e racional os resíduos agroflorestais. Outros resíduos como subprodutos vegetais de culturas alimentícias, agroindustriais ou de exploração de florestas, que não são utilizados diretamente como energéticos por possuírem em geral baixa densidade, alta umidade, formato geométrico indesejado e baixo poder calorífico, podem ser processados com o objetivo de aumentar a eficiência de utilização desses insumos, o que em muitos casos se torna vantajoso devido aos baixos custos de obtenção desses resíduos, Mayer *et al.* (2007), o que atende as premissas básicas do PNA.

Como bem observado por Stout & Best (2001), uma transição para um sistema energético sustentável é uma necessidade urgente em vários países em desenvolvimento. Uma das fontes de energia são os resíduos de madeira ou de serrarias para a fabricação de briquete que tem o potencial de atender às demandas de energia adicional dos setores urbano e industrial, contribuindo assim de forma significativa para o avanço econômico dos países em desenvolvimento e alteração na matriz energética que emprega biomassa (Figura 1). Materiais considerados como resíduos podem ser utilizados como fonte de energia com ou sem processamento previo. Para Valle (1995), um material deixa de ser considerado resíduo pela sua valorização como matéria-prima para a produção de novos produtos. Segundo Kiperstok *et al.* (2002), na impossibilidade dos resíduos serem reutilizados ou reciclados no processo produtivo (internamente), o reuso e a reciclagem externa, bem como a recuperação de alguns componentes ou energia, deverão ser adotadas ao invés de sua simples disposição no ambiente.

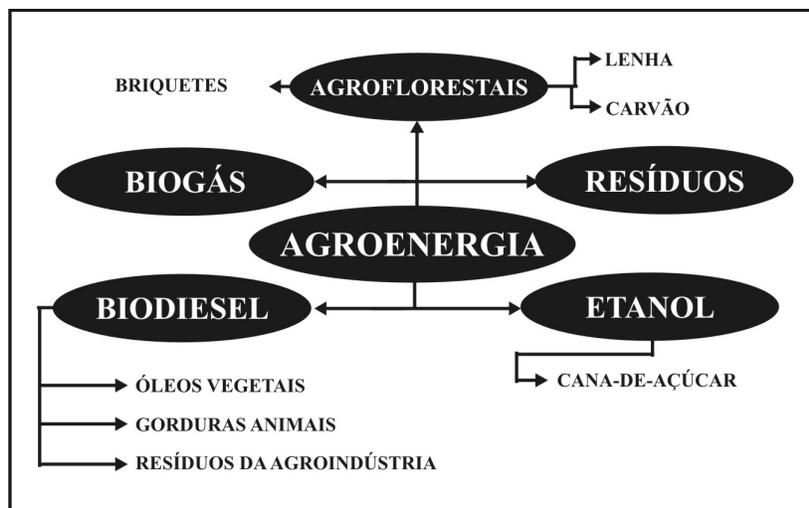


FIGURA 1 - Matriz da Agroenergia. Fonte: Adaptado a partir D. L. Gazzoni (2007)

O emprego da biomassa renovável é importante para a conservação das florestas como fonte de biodiversidade e de sumidouros de carbono e cria razões para limitar ou mesmo inverter a sua conversão em terras cultivadas (RIGHELATO & SPRACKLEN, 2007; SCHARLEMANN & LAURANCE, 2008). Aumentando a versatilidade do uso de biomassa para fins alimentares, e produção de energia para satisfazer as necessidades essenciais e material das populações humanas ao redor do mundo (BRINGEZU *et al.*, 2007). Um exemplo disso pode ser visto no recente aumento dos preços mundiais de cereais, que em parte foi induzida pela demanda adicional para a produção agrícola para produção de biocombustível (OCDE / FAO, 2007).

## **2.2 Briquetagem**

### **2.2.1 Definição e Histórico**

Briquetagem é um processo no qual pequenas partículas de material sólido são prensadas para formar blocos de forma definida e de maior tamanho. Por meio desse processo, subprodutos de beneficiamento agrofloretais e finos de carvão convertem-se em um material de maior valor comercial (ANTUNES, 1982).

Todo resíduo de origem vegetal pode ser compactado, o processo, entretanto não é uma inovação recente, a primeira notícia sobre compactação ocorreu por volta de 1880 (REED & BRYANT, 1978).

A biomassa é parte do ciclo de carbono. Atualmente, a participação da biomassa no consumo mundial de energia primária total é de cerca de 12%. Estimava-se que aumentasse para quase 15% até 2010 nos países desenvolvidos (HAN & KIM, 2008). Com o esgotamento das fontes de combustíveis fósseis, bem como as questões do aquecimento global, a utilização de biomassa atraiu maior atenção (LI *et al.*, 2004).

É comumente aceito que a quantidade de carbono armazenado na biomassa é de aproximadamente 50% da biomassa em peso (HAN & KIM, 2008).

A escolha de um resíduo com potencial energético ocorre em função das propriedades químicas e térmicas relacionadas com as suas características combustíveis. Basicamente, as principais propriedades são a análise química imediata, a análise química elementar, o poder calorífico, o teor das cinzas e o comportamento térmico da biomassa (CORTEZ *et al.*, 2008).

Lignina tem sido relatada a agir como um agente de ligação e contribuir para a resistência dos materiais densificados (Anglès *et al.*, 2001; Granada *et al.*, 2002). A temperatura de fusão da lignina pode ser reduzido de 140°C (Van Dam *et al.*, 2004) para

entre 100 e 135°C (comumente atingido durante peletização comercial) pela umidade (8-15%) dentro de fontes de biomassa (LEHTIKANGAS, 2001).

Embora a madeira seja reconhecida pelas suas características como combustível existe uma grande variedade de materiais que podem ser utilizados como matéria prima. Virmond (2007) comenta que além dos resíduos de madeira existem outras biomassas com potencial para uso como combustível. Dentre elas citam-se resíduos agrícolas, espécies herbáceas, bagaços (frutas, cana-de-açúcar, etc.), plantas aquáticas, resíduos animais, bio-sólidos, gorduras e óleos residuais.

Para atender a demanda crescente de geração de calor, a queima de biomassa reciclável se inclui entre as alternativas mais econômicas e ambientalmente corretas. Segundo Grippi (2001), gerenciar os resíduos sólidos na concepção da palavra significa cuidar dele do berço ao túmulo, ou seja, desde sua geração, seleção e disposição; a qual deve ter um destino ambiental e sanitário adequados, a fim de não contaminar o solo, o ar, as águas superficiais e subterrâneas e evitar a proliferação de vetores que podem causar doenças ao homem.

Os briquetes são considerados lenha de qualidade, produzidos a partir da compactação de resíduos lignocelulósicos, usando pressão e temperatura (SILVA, 2007)

A fabricação de briquete tem o potencial de atender às demandas de energia adicional dos setores urbano e industrial, contribuindo assim de forma significativa para o avanço econômico dos países em desenvolvimento. No entanto, a fim de fazer um impacto significativo como fonte de combustível, há uma necessidade de melhorar e promover a sua tecnologia de produção (GROVER *et al.*, 1994). A tecnologia pode ser definida como um processo de densificação para melhorar as características de manipulação de matéria-prima e melhorar o valor calorífico volumétrico da biomassa (WILAIPON, 2007).

Os briquetes são produzidos a partir de qualquer biomassa vegetal, matéria-prima que deve ser processada por uma briquetadeira, máquina com capacidade para processar entre 50 e 1000 kg h<sup>-1</sup> de resíduos.

De acordo com o pesquisador da Embrapa Agroenergia, José Dilcio Rocha, sobras de madeira, casca de arroz e de café e sabugo de milho são resíduos que podem ser compactados na máquina para gerar os briquetes - uma fonte concentrada e comprimida de material energético que pode ser queimado no lugar da lenha. Qualquer resíduo agrícola ou florestal pode ser matéria prima para a produção de briquetes.

Segundo Esdras Sunfeld & Cristina Machado (2011), pesquisadores da Embrapa Agroenergia, a EMBRAPA está ciente de que no desenvolvimento de processos industriais de conversão da biomassa em biocombustíveis, além dos desafios técnicos, um grande desafio que não pode ser subestimado é a governança dos processos de Pesquisa Desenvolvimento e Inovação (PD&I), envolvendo a integração de esforços, trabalhos em rede, alocação adequada e compartilhamento de recursos humanos, físicos e financeiros e estabelecimento de parcerias público-privadas, entre outros aspectos.

É neste cenário que a biomassa tem sido cogitada como alternativa devido as suas características ambientais, de baixo preço, com potencial de produção no limite das terras cultiváveis e renováveis a cada ciclo, destacando-se os materiais lignocelulósicos, oriundos de florestas (CORTEZ & BORBA, 1997).

De acordo com estudos desenvolvidos por Couto *et al.* (2004), os briquetes comercializados no Brasil enfrentam desafios como alto preços do frete da matéria-prima, a concorrência com os baixos preços da lenha e do carvão vegetal, elevados impostos, ausência de promoção do produto e necessidade de capital de giro. No mercado externo, destacam-se os grandes pedidos comerciais feitos às pequenas empresas de briquetagem, a burocracia do governo e o elevado custo para o capital de giro que se apresenta como entraves ao comércio deste produto. Acrescenta-se também a falta de conhecimento do mercado nacional do produto, tendo como prática comum a mistura dos briquetes com carvão vegetal.

Felfli (2003), citado por Carvalho e Brinck (2004), afirma que, no caso específico do mercado doméstico, o consumo de carvão vegetal para churrasco é elevado na população urbana do Brasil. Assim, por exemplo, em São Paulo são produzidas 108.360 toneladas por ano, sendo que 64% vão para o consumo doméstico (churrasco) e 36% para o consumo em estabelecimentos comerciais (pizzarias, churrascarias e restaurantes). Uma pesquisa de mercado direcionada ao consumidor doméstico de carvão vegetal mostrou que a maioria dos consumidores não tem preferência por marcas ou tipos de carvão. Quando questionados sobre o fator na decisão de compra, a maioria respondeu que em primeiro lugar estava a disponibilidade do produto sem se importar com a marca, deixando, em segundo lugar, o preço. Isso evidencia que a concorrência entre marcas é praticamente nula, possibilitando que novos produtos possam disputar este mercado.

Para superar e entender os desafios da competitividade do mercado, é necessário que sejam introduzidos modernos métodos de avaliação de custos e lucros empresariais,

uma vez que é crescente a preocupação com a importância econômica estratégica da agroenergia e dos biocombustíveis. Informações que atribuam maior visibilidade contábil e novos investimentos ao negócio se apresentam como alternativas factíveis para que se consigam baixo risco e maior lucro possível (GENTIL, 2008).

### **2.3 Tecnologia da Briquetagem**

Nos dias atuais, é possível utilizar grande variedade de resíduos orgânicos na produção de energia por tecnologias simples, uma delas é a briquetagem, que consiste na aplicação de pressão a uma massa de partículas com tamanho e umidade ideais, com ou sem adição de ligante, e com ou sem tratamento térmico (SALEME, 1992).

Densificação (peletização e briquetagem) de materiais de biomassa triturada melhora características de manuseio, reduz os custos de transporte, aumenta o valor calorífico volumétrico, e melhora o controle sobre os processos de combustão (GRANADA *et al.*, 2002; SOKHANSANJ *et al.*, 2005).

As vantagens acima são provocadas pelo fato de que a densificação de matérias-primas de biomassa aumenta drasticamente o volume de densidade e produz um produto uniforme, que pode ser tratado por equipamentos de manuseio convencionais (grãos/granular). Agentes de ligação naturais e sintéticos (lignosulfonatos, amidos, proteínas, argilas, etc) são muitas vezes misturada com a matéria-prima antes de densificação, a fim de garantir um consistente produto de alta qualidade. Muitos materiais de biomassa possuem compostos químicos naturais (proteína, amido, lignina, etc) que são conhecidos por contribuir para a coesão e a ligação das partículas, no entanto, estes componentes podem não ser abundante, ou disponíveis o suficiente para contribuir significativamente para a ligação da biomassa durante o processo de densificação. A alteração da estrutura física/química de materiais de biomassa é necessária para liberar estes componentes químicos desejáveis (SHAW *et al.*, 2009).

No processo de briquetagem, além poder ser utilizado vários tipos de biomassa com características diferentes, os equipamentos também são bastante diversificado (BHATTACHARYA, 2004), dependendo do tipo de material que se vai processar e do tipo de compactação, de acordo com o equipamento usado pode ser categorizada a compactação de três principais tipos. Segundo Erikson & Prior (1990) citam três sistemas de adensamento de alta pressão: rosca extrusora, peletização e briquetagem.

Alves Junior & Santos (2002) afirmaram que o processo de briquetagem ou transformação de madeira em briquetes consiste na trituração da madeira (moagem) e

posterior compactação a elevadas pressões, o que pode provocar a elevação da temperatura do processamento na ordem de 100° C. O aumento da temperatura provoca a “plastificação” da lignina, substância que atua como elemento aglomerante das partículas de madeira. De acordo com o mesmo autor, para que a briquetagem tenha sucesso, o material deve ter umidade entre 8% a 15% e o tamanho de partícula entre 5 a 10 mm.

## **2.4 Cafeicultura e Produção de Biomassa**

### **2.4.1 Sistema Safra Zero de Condução da Lavoura Cafeeira**

Safra zero é um sistema idealizado pelo Engenheiro Agrônomo Tomaz Eliodoro da Costa da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), onde o café é esqueletado de dois em dois anos de maneira que a lavoura alterna um ano sem produção (safra zero) e um ano com produção (safra alta) (THOMAZIELLO, 2008).

O sistema safra zero surgiu como solução para o sério problema de custo de colheita que ocorre principalmente no ano de safra baixa. Dentro do sistema safra zero, no ano sem produção não se gasta com a arruação e colheita, que representa a maior parcela do custo final da produção (GUIMARÃES FILHO, 2012)<sup>1</sup>

De acordo com Oliveira (2001), este sistema baseia-se em dois tipos de poda, o decote do cafeeiro é feito a uma altura de 1,50 a 1,80 m e o esqueletamento dos ramos plagiotrópicos (horizontais) nos quatro lados dos pés de café a uma distância de 20 cm do tronco, visando principalmente á possibilidade de renovar e aumentar o número de ramos produtivos por planta, com isto potencializando a safra posterior.

Biomassa é definida por Wood & Hall (1995) como resíduos de origem orgânica que não foram fossilizados, mas que têm possibilidade de serem utilizados como combustível.

Goldemberg & Coelho (2000) afirmam que o Brasil tem enorme potencialidade para a geração de energia através do uso de resíduos agrícolas que atualmente são deixados no solo.

A casca ou palha de café (pergaminho) já é utilizada há muito tempo, como fertilizante orgânico, mas o custo com transporte de levar essa casca de volta para o

---

<sup>1</sup> GUIMARÃES FILHO, F.R. Produtor de café, proprietário da Fazenda Mangará, fabricante do separador de café “Papa Galhos”.

campo é elevado. Giomo (2006) afirma que os resíduos de café são utilizados tanto para adubação dos cafezais como para queima em fornalhas, podendo, ainda ser utilizado na fabricação de briquetes energéticos.

Segundo Gentil (2008), a casca tem um potencial energético próximo ao da madeira. Experimentos permitiram identificar que a queima de cada quilo do material seco, com 0% de umidade, gera 3.933 quilocalorias, número considerado excelente pelo pesquisador se comparado à lenha, principal fonte usada pelas empresas, que produzem 4.932 quilocalorias.

Ainda Gentil (2008), o uso do material reúne uma série de benefícios. Em primeiro lugar, ajuda a “limpar” o meio ambiente, já que reduz a quantidade de subprodutos deixados na natureza. Em segundo, contribui para a minimização do desmatamento de áreas nativas, pois substitui a madeira.

Por fim, ao mesmo tempo em que constitui uma fonte energética de custo zero, pode gerar renda aos produtores de café.

Uma alternativa para agregar valor e reduzir impactos causados pelos resíduos é a sua utilização na produção de energia. A utilização energética desses resíduos apresenta grandes vantagens como mudança na matriz energética, ampliação na geração de renda, diminuição dos gases de efeito estufa, diminuição dos volumes de resíduos depositados em aterros sanitários e conseqüentemente redução de custos (QUIRINO, 2003).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local**

O trabalho foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas – Campus Inconfidentes (I F Sul de Minas) e também na Fazenda Mangará em Ouro Fino, localizada no Sul do Estado de Minas Gerais, a uma altitude média de 997m, latitude de 22°16’58”S e longitude de 46°22’08”O. Apresentando clima do tipo tropical de altitude CWb. A temperatura de 34° C e a mínima de 2° C, sendo a precipitação média anual de 1744,2 mm (BUSSONET, 2008).

Foram coletados resíduos extraídos de duas áreas com lavouras de idades e espaçamentos diferentes, conduzidas no sistema safra zero, onde os pés foram decotados e esqueletados. Todo o material vegetal obtido no esqueletamento e decote

foram empregados na montagem dos diferentes tratamentos, sendo misturados com diferentes porcentagens de resíduos do café, para serem usados na produção dos briquetes.

### 3.2 Descrição da Lavoura

Plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) “Mundo novo”, cultivadas em duas áreas diferentes, sendo uma com 26 e a outra com 4 anos de idade, ambas com população de 5.000 plantas ha<sup>-1</sup>, foram esqueletadas e decotadas em julho de 2011.

Após o recolhimento do material, os ramos com frutos foram levados para máquina PAPA-GALHOS<sup>®</sup> (FIG. 1), onde foram separados galhos e folhas dos frutos. Posteriormente, foi determinada massa vegetal composta por galhos e folhas (TAB. 1), as quais foram mantidas em galpão para realizar o processo de secagem em temperatura ambiente.

TABELA 1- Massa úmida produzida a partir de esqueletamento/decote das lavouras cafeeiras.

	Ramos plagiotrópicos/ponteiro (kg planta <sup>-1</sup> )*	Produção (kg ha <sup>-1</sup> )
Mundo Novo (4 anos) <sup>1</sup>	2,40	11.950
Mundo Novo (26 anos) <sup>2</sup>	7,20	36.000

\*Média de 30 plantas. <sup>1</sup>espaçamento de (2,5 x 0,80 m); <sup>2</sup>espaçamento de (2,0 x 1,0 m).

Decorridos seis dias de secagem em galpão todo o material foi moído utilizando um triturador de milho da marca Nogueira com peneira 10 (10 mm), sendo retiradas amostras em separado, as mesmas foram levadas ao Laboratório, visando verificar a umidade.

Após a moagem, o material retornou ao galpão para concluir processo de secagem a temperatura ambiente até atingir a umidade de 12% em média, quando foram realizadas diferentes misturas de acordo com os tratamentos, após esse momento, sendo levado para a briquetadeira.



**FIGURA 1. PAPA-GALHOS**

Esta máquina, produzida pela Indústria e Comércio de Máquinas de café Mangará Ltda, trabalha com 1540 RPM (Rotações Por Minuto) com motor Diesel de 16 CV (cavalo Vapor), produzindo 60 (sessenta) litros de café abanados (café da roça) em 40 segundos. Tracionada por um trator que tem a função de colocar a máquina em posição estratégica para facilitar o transporte dos ramos podados (decotados e esqueletados) ainda com fruto até a máquina Papa Galhos onde é feita a separação (FIG. 1).

### **3.3 Produção dos Briquetes**

Para a produção dos briquetes foram utilizados resíduos desde a colheita do café no sistema safra zero (esqueletamento e decote a uma altura de 1,50 a 1,80 metros), até o beneficiamento onde é obtido a casca e o pergaminho (palha do café). A briquetagem foi realizada utilizando galhos folhas e palha de café em diferentes porcentagens da mistura em volume. O material com as características ideais, qual seja, granulometria de 5 a 10 mm no máximo e umidade numa faixa estreita de 8 a 15% de umidade, foi processado em uma briquetadeira da marca BIOMAX (FIG. 2) tem a capacidade de produzir de 800 a 1000 Kg por hora de briquetes. Vale dizer que biomassa contendo

umidade superior a 16%, não produz briquetes de qualidade, tornando-se difícil compactar independente do tipo de equipamento utilizado.



Ft

**FIGURA 2. Briquetadeira**

Na confecção dos briquetes foi utilizada uma pressão de  $153 \text{ Kg/cm}^2$  e uma temperatura entre  $125^0 \text{ C}$  a  $150^0 \text{ C}$ , que é a faixa de temperatura ideal para a plastificação da lignina. Ao final do processo, o briquete ficou com as seguintes características: comprimento médio de 34 cm, diâmetro de 7,2 cm e peso aproximado de 1,506 Kg (FIG. 3).



**FIGURA 3.** Aspecto geral dos briquetes produzidos de acordo com os tratamentos. Galhos e folhas – 100% (1); Palha - 100% (2); 25% palha + 75% galhos e folhas (3); 75% palha + 25% galhos e folhas (4) 50% palha + 50% galhos e folhas (5); 40% palha + 60% galhos e folhas (6)

A compactação aconteceu por meio de golpes produzidos sobre a biomassa por meio de um pistão acionado através de dois volantes. O volante serve para armazenar energia cinética para sustentar o funcionamento contínuo que necessita de grande potencia. A prensa briquetadeira utilizada foi Biomax modelo B-75/190, com capacidade de 800 a 1000 Kg/hora (capacidade de 4,5 m<sup>3</sup>/hora), com um motor de 50 CV, volante com diâmetro de 1200 mm, máquina pesando 7000 Kg, produzindo briquete com 72 mm de diâmetro.

### **3.4 Tratamentos**

Biomassa de galhos folhas e casca de café:

- 1- Galhos e folhas – 100%
- 2- Palha - 100%
- 3- 25% palha + 75% galhos e folhas
- 4- 75% palha + 25% galhos e folhas
- 5- 50% palha + 50% galhos e folhas
- 6- 40% palha + 60% galhos e folhas.

### **3.5 Avaliações**

Visando utilizar resíduos da cultura de café (galho, folha e palha) como fonte de energia é necessário conhecer a densidade, umidade e algumas propriedades do material através de análise elementar, análise química imediata e o poder calorífico superior e inferior.

#### **3.5.1 Determinação da Densidade**

O cálculo da densidade por análise gravimétrica, foi realizado no Laboratório de Análise de Solos do IFSuldeMinas- Campus Inconfidentes, após o processo de briquetagem.

#### **3.5.2 Análise Elementar**

Na análise elementar foram determinados com analisador elementar os teores de Carbono (C), Hidrogênio (H), Nitrogênio(N), Enxofre (S), e por diferença o teor de Oxigênio (O), obtido pela equação 1 (Bech *et al*, 2009). No presente estudo, várias análises foram realizadas em briquetes confeccionados de misturas em porcentagens diferentes de resíduos da cultura de café.

A Análise Química Elementar foi realizada de acordo com o método do Analizador Elementar marca Perkin-Elmer. Determinou-se utilizando a norma ASTM (Standart Methods for the Ultimate Analysis of Coal and Coke), D 3176-74 (ASTM, 1983). Constituindo como a característica mais importante do combustível, sendo também a base para análise dos processos de combustão. Cada amostra foi retirada em separado, moída e peneirada. Posteriormente levadas à combustão de uma massa conhecida da amostra à 925° C em uma cápsula de estanho utilizando gás hélio de arrasto para uma coluna de redução onde são separados e determinados por cromatografia gasosa.

Para a determinação do Enxofre foi realizada após a digestão nitroperclórica por um extrator do elemento  $[Ca(H_2PO_4)]$ . A análise foi realizada por turbidimetria com auxílio de espectrofotômetro, utilizando filtro com comprimento de onda de 440 nm. Equação 1:

$$O (\%) = 100\% - C (\%) - H (\%) - N (\%) - S (\%) - Cinzas (\%)$$

### 3.5.3 Análise Química Imediata

Determinação de umidade, material volátil, teor de cinzas e carbono fixo, foi realizada utilizando a metodologia expressa na ASTM D – 1762/1964.

Para a determinação de materiais voláteis foi utilizado Cromatógrafo e acessório Head Space, análise esta realizada na Central Analítica do Instituto de Química - USP

As amostras retiradas em separado dos briquetes que foram moídas e peneiradas, passando pela peneira de 0,42 mm (40 mesh) e colhidas do que ficou retido na peneira de 0,25 mm (60 mesh).

A metodologia consiste em colocar 1,0 grama da amostra seca em cápsula de porcelana, durante 10 minutos em forno mufla a 625° C  $\pm$  5° C. O que restou na cápsula, foi utilizado para determinar a porcentagem de cinzas. O Carbono Fixo (CF) foi determinado por diferença percentual entre materiais voláteis, cinzas e 100, Equação 2:

$$CF \% = 100 - (\% \text{ materiais voláteis} + \% \text{ Cinzas})$$

Estas análises forneceram os teores de materiais voláteis, cinzas e, por diferença o Carbono fixo (Valle & Gentil, 2008). Os elementos de maior contribuição para o

poder calorífico são o Carbono e o Hidrogênio. Análises realizada de acordo com a Norma 8112 da ABNT (1986).

Tanto a Análise Elementar como Análise Química imediata, primeiramente determinou-se o teor de Umidade das amostras pela secagem. As amostras retiradas dos briquetes foram moídas e pesadas e colocadas em cadinhos de porcelana e secados em estufa convencional a  $105 \pm 5^\circ \text{C}$ , até obter peso constante seguindo o método ASTM D 3173-73 (ASTM, 1983).

Para se fazer a determinação do Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI), foi retirada amostra de cada briquete produzido. PCS é dado pela soma da energia liberada na forma de calor e a energia gasta na vaporização da água que se forma numa reação de oxidação. A partir do PCS, desconta-se a energia gasta para a evaporação do hidrogênio de constituição do combustível, na forma de água, e obtém-se o PCI (Nascimento, 2006). Portanto o PCI é a energia liberada na forma de calor. A determinação do poder calorífico superior, seguindo a norma NBR – 2015 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1966).

As análises laboratoriais foram realizadas no intuito de verificar a qualidade química das diferentes misturas usadas nos tratamentos. As amostras de briquetes foram enviadas para a Central Analítica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, sendo analisada pela laboratorista Luzia Narimatsu e a Professora Patrícia Lemos Matai.

### **3.6 Análise estatística**

O delineamento do utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), constando de seis tratamento com 3 repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANAVA), utilizando-se do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 1999), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise química elementar. Pode-se observar que nos diferentes tratamentos a variação da porcentagem de carbono ficou entre 41,85 e 43,84%, o hidrogênio variou de 6,01 a 6,25%, o nitrogênio variou de 0,73 a 1,91%, o enxofre ficou abaixo de 0,1% e o oxigênio esteve na faixa de 45,10 a 49,90%.

Os briquetes compostos somente por palha ou com maior porcentagem de palha na sua constituição apresentaram os menores teores de nitrogênio (TABELA 2). Borges et al. (2008) afirmaram que maior percentual de nitrogênio presente nos briquetes, diminui a sua eficiência energética no processo de combustão, pois o nitrogênio compete com o carbono durante as reações de oxidação. Além disso, o teor está relacionado aos impactos ambientais e poluição do ar, em função da formação de óxidos de nitrogênio tóxicos e ácido nítrico (MUNALULA & MEINCKEN, 2009).

TABELA 2 - Teor em porcentagem de massa de carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e oxigênio nos briquetes produzidos a partir de diferentes proporções de casca de café, galho e folhas.

TRATAMENTOS	ANÁLISE QUÍMICA ELEMENTAR (%)				
	C <sup>(ns)</sup>	H <sup>(ns)</sup>	N <sup>(*)</sup>	S <sup>(ns)</sup>	O <sup>(ns)</sup>
100% galhos e folhas	42,03a	6,10a	1,73a	<0,1a	45,10a
100% palha	43,64a	6,01a	0,95b	<0,1a	49,90a
25%palha + 75%galhos e folhas	43,38a	6,05a	1,20b	<0,1a	46,33a
75%palha + 25%galhos e folhas	43,49a	6,01a	0,96b	<0,1a	47,60a
50%palha + 50%galhos e folhas	41,85a	6,25a	1,17b	<0,1a	47,10a
40%palha + 60%galhos e folhas	42,50a	6,11a	1,91a	<0,1a	47,02a
<b>CV (%)</b>	2,03	3,20	4,57	0,89	1,41

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo Teste Scott & Knott. <sup>(\*)</sup>Significativo, a 5% de probabilidade; <sup>(ns)</sup>Não significativo; Carbono (C); hidrogênio (H); nitrogênio (N); enxofre (S); oxigênio (O).

Brum *et al.* (2006) trabalhando com a palha de café obteve na análise elementar 44% de carbono, 5,40% de hidrogênio e 0,70% de nitrogênio e 49,90% de oxigênio. Estes resultados foram semelhantes aos encontrados no presente trabalho. O teor de carbono do caule de cafeeiro gira em torno de 48,06 % (SEYE *et al.*, 2003), no presente

trabalho não foi observado nenhum teor acima de 43,84%. Isto pode ser devido à mistura realizada de galhos, folhas e palha de café nos diferentes tratamentos, o que no final do processo reduziu o teor de carbono nos briquetes produzidos. Maiores teores de carbono e hidrogênio no briquete aumentam a eficiência na liberação de energia (DE SENA, 2005). Canmet (2005) afirmou que briquetes de cavacos de madeira apresentam teor de oxigênio em torno de 45%. Han & Kim (2008) que é comumente aceito que a quantidade de carbono armazenado na biomassa de plantas é de aproximadamente 50% da biomassa em peso.

Para todos os tratamentos, o teor de enxofre obtido neste trabalho foi menor que 0,1% (TABELA 2), o que é positivo. Na produção de briquetes a partir de materiais lignocelulósicos (eucaliptos e/ou outros), os valores de enxofre encontrados estão numa faixa superior entre 0,1 a 0,4%, que juntamente com o nitrogênio contribuem relativamente pouco na liberação de energia de um combustível, além de ocasionarem poluição do ambiente e formação de chuva ácida após sua liberação na atmosfera durante a combustão (BILGEM & KAYGUSSUZ, 2008; OBERNBERGER *et al.*, 2006). Estudos mostram que tradicionalmente, o enxofre e as cinzas são considerados as principais impurezas dos combustíveis. Uma maior concentração de enxofre pode ocasionar a formação de componentes corrosivos nas caldeiras (TELMO *et al.* 2010).

As densidades dos briquetes variaram de  $1,034 \text{ g cm}^{-3}$  com o tratamento composto pela mistura de 50% palha + 50% galhos e folhas (GF) e a densidade de  $0,889 \text{ g cm}^{-3}$  para tratamento com 75% GF + 25% palha (TABELA 3). Resultados semelhantes foram obtidos por Quirino & Brito (1991) encontraram densidades variando de  $0,69$  a  $0,99 \text{ g cm}^{-3}$  para briquetes produzidos com a mistura de serragem, carvão vegetal, nitrato, cinzas e aglomerantes. A densidade é importante para estocagem e transporte de material utilizado na geração de energia. A briquetagem transforma resíduos de baixa densidade em um produto densificado e com alto potencial energético (QUIRINO *et al.*, 2004). Além disso, a densificação de resíduos pode proporcionar aumento de cinco vezes ou mais na energia que o volume de resíduo que lhe deram origem, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico dos mesmos (QUIRINO, 1991).

Para a percentagem de umidade nos briquetes dos diferentes tratamentos, os resultados variaram de 11,86 % para a mistura de 75% GF + 25% palha e de 17,61% de umidade para o tratamento composto por 75% palha + 25% GF (TABELA 3).

Reis *et al.* (2002) relataram que briquetes com teor de umidade superior a 15% podem comprometer a eficiência de sua combustão devido a relação negativa entre poder calorífico e umidade. Entretanto, para a compactação do resíduo é necessário teor de umidade num faixa estreita de 8 a 15% para a solubilização da lignina e conseqüentemente a ligação das partículas durante a compactação (SHAW *et al.*, 2009; CARVALHO & BRINCK, 2004). No presente trabalho, observou-se a tendência de aumento da umidade nos briquetes nos tratamentos que foram compostos por misturas com maior quantidade de palha (TABELA 3), o que levou, provavelmente, a uma diminuição do Poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI), nestes tratamentos, principalmente, na combinação de 75% palha + 25% GF, que apresentou o menor poder calorífico (TABELA 3) e umidade superior a 15%. Briquetes com teores de umidade em torno de 12% resultaram em maiores PCS e PCI (TABELA 3).

TABELA 3 - Poder Calorífico Superior (PCS), Poder Calorífico Inferior (PCI), Umidade e Densidade nos briquetes produzidos a partir de diferentes proporções de palha de café, galhos e folhas.

<b>Tratamentos</b>	<b>PCS<sup>(*)</sup></b> <b>(Kcal/Kg)</b>	<b>PCI<sup>(*)</sup></b> <b>(Kcal/Kg)</b>	<b>UMIDADE<sup>(ns)</sup></b> <b>(%)</b>	<b>DENSIDADE<sup>(ns)</sup></b> <b>(g cm<sup>-3</sup>)</b>
100% galhos e folhas	3.973,7a	3.795,2a	12,57a	0,958a
100% palha	4.005,9a	3.822,1a	13,28a	1,030a
25%palha + 75%galhos e folhas	4.028,3a	3.846,7a	11,86a	0,889a
75%palha + 25%galhos e folhas	3.359,4b	3.176,8b	17,61a	1,006a
50%palha + 50%galhos e folhas	3.746,9a	3.575,6a	15,21a	1,034a
40%palha + 60%galhos e folhas	3.916,1a	3.740,59a	15,18a	1,013a
CV (%)	5,36	6,23	1,40	1,71

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo Teste Scott & Knott. <sup>(\*)</sup>Significativo, a 5% de probabilidade; <sup>(ns)</sup>Não significativo.

O poder calorífico é dividido em Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI). A diferença entre os dois, é que no PCS a água encontra-se na fase líquida, enquanto o PCI a água que é formada encontra-se em forma de vapor. O PCS é sempre maior ou igual ao PCI. O valor quantitativo do Poder Calorífico pode variar muito de acordo com o teor de umidade da biomassa, portanto a diferença é a energia requerida para evaporar a umidade presente no combustível e a água de

formação obtida a partir da oxidação do hidrogênio do combustível (CORTEZ *et al.*, 2008).

Os resultados para o PCS e PCI encontram-se na Tabela 3, sendo que os menores valores de PCS e PCI foram observados no tratamento composto por 75% de palha + 25% GF. A média dos tratamentos com maiores PCS foi de 3.934,18 Kcal kg<sup>-1</sup> e dos maiores PCI ficou em 3.756,03 Kcal kg<sup>-1</sup>. No presente trabalho, o tratamento composto somente por palha de café apresentou valores de 4.005,9 e 3.822,1 Kcal kg<sup>-1</sup> para PCS e PCI, respectivamente. Estes valores foram inferiores aos observados por Paula *et al.* (2011), que encontraram para pergaminho de café valores de 4.441,74 Kcal kg<sup>-1</sup> para PCS e 4.017,89 Kcal kg<sup>-1</sup> e para o caule de café o valor do PCS foi 4.544,00 cal g<sup>-1</sup> e PCI foi de 4.125,30 Kcal kg<sup>-1</sup>. A madeira natural apresentou poder calorífico de 4000 a 4800 Kcal/Kg (BRITO, 1993), o bagaço de cana de açúcar apresentou 4.139,0 Kcal kg<sup>-1</sup> (SEYE *et al.*, 2003) e para algumas espécies cultivadas como o arroz, milho, soja, feijão o PCS variou de 3.812,30 a 4.499,74 Kcal kg<sup>-1</sup> e o PCI de 3.445,05 a 4.021,70 Kcal kg<sup>-1</sup> (PAULA *et al.*, 2011).

Os resultados para o PCS e PCI encontram-se na Tabela 3, sendo que os menores valores de PCS e PCI foram observados no tratamento composto por 75% de palha + 25% GF. A média dos tratamentos com maiores PCS foi de 3.934,18 Kcal kg<sup>-1</sup> e dos maiores PCI ficou em 3.756,03 Kcal kg<sup>-1</sup>. No presente trabalho, o tratamento composto somente por palha de café apresentou valores de 4.005,9 e 3.822,1 Kcal kg<sup>-1</sup> para PCS e PCI, respectivamente. Estes valores foram inferiores aos observados por Paula *et al.* (2011), Em resíduos florestais o teor de cinzas é de 2%, conforme relataram AYOUB *et al.* (2006). Shaw *et al.* (2009) trabalhando com palha trigo e álamo observaram teor de cinzas de 4.02 e 0,54 % respectivamente.

As cinzas geradas na queima correspondem a porcentagem de material que não produz calor e pode afetar na contribuição energética do material. Estes materiais utilizam a energia fornecida durante a queima para se manterem aquecidos (GONÇALVEZ *et al.*, 2009).

Os materiais voláteis encontrados na análise química imediata giraram em torno de 72 a 87% e o carbono fixo ficou entre 7,9 a 22,80% (TABELA 4). Rodrigues (2010), trabalhando com briquetes de finos de madeira em mistura com lodo encontrou 15 % de carbono fixo e 90% de materiais voláteis na ausência de lodo. A mesma autora relatou ainda que o aumento das concentrações de lodo no briquete diminuiu a porcentagem de materiais voláteis e carbono fixo. Os materiais voláteis têm papel importante durante a

ignição e as fases de combustão da biomassa (IVANOV et al., 2003; CORTEZ et al., 2008). Nos combustíveis de biomassa, como a madeira, a quantidade de material volátil varia entre 76 a 86% em base seca e são responsáveis pela maior parte da geração de calor durante a combustão (MORAIS et al., 2004).

TABELA 4 - Teor de voláteis, carbono fixo e cinzas nos briquetes produzidos a partir de diferentes proporções de palha de café, galho e folhas.

TRATAMENTO	ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA (%)		
	Voláteis <sup>(ns)</sup>	Carbono fixo <sup>(*)</sup>	Cinzas <sup>(ns)</sup>
100% galhos e folhas	72,20a	22,80a	5,00a
100% palha	78,00a	17,67b	4,33a
25%palha + 75%galhos e folhas	80,57a	14,62b	4,81a
75%palha + 25%galhos e folhas	87,17a	7,93c	4,90a
50%palha + 50%galhos e folhas	83,68a	11,95c	4,37a
40%palha + 60%galhos e folhas	80,07a	13,78b	6,15a
CV (%)	6,67	5,04	5,92

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si pelo Teste Scott & Knott. <sup>(\*)</sup>Significativo, a 5% de probabilidade; <sup>(ns)</sup>Não significativo.

O Poder Calorífico Superior (PCS) com Carbono Fixo (CF) apresenta uma relação positiva, ou seja, quanto maior o CF maior o PCS (TABELAS 3 e 4 ). O teor de Carbono Fixo tem influência direta no poder calorífico (DE SENA, 2005). Briquetes com maior densidade apresentam maior estabilidade e durabilidade; da mesma forma que briquetes com alta porcentagem de carbono fixo e poder calorífico tem baixo teor de cinzas e material volátil (SOTANDE *et al.*, 2010).

O alto índice de carbono fixo é usado como referencia, porque, se pressupõem que a medida que aumenta a quantidade de carbono fixo, a possibilidade de voláteis nocivos é menor. No entanto, é importante ressaltar se os voláteis nocivos são causados

pelo baixo teor de carbono fixo ou pela combustão em condições inapropriadas e o alto teor de umidade contida no combustível (SOARES *et al.*, 2003).

Brum (2007) afirmou que se deve levar em conta a constituição química dos materiais utilizados nas misturas, onde a mesma vai depender de vários fatores como a análise do solo, clima, época de colheita, pragas e doenças, tipos de cultivo, entre outras. Justificando que plantas da mesma espécie apresentem composições químicas diferentes, podendo ainda ocorrer diferença devido à coleta de amostra para ser analisada, a homogeneização das misturas em porcentagem de resíduos.

Felfli *et al.* (2011) e Vilela *et al.* (2001) afirma que cerca de 95% do grão de café é processado por via seca, resultando em resíduos formados por epicarpo. Na sua grande maioria o processamento do grão de café é realizado em fazendas ou cooperativas de produtores, quando processados em fazendas obtém-se o café chamado de bica corrida de menor valor, já quando processado em cooperativas o mesmo é separado, retirando-se os defeitos, o rendimento fica em torno de 50% do peso do café em coco (ROCHA *et al.*, 2006; CARVALHO,1992;) Tem-se, portanto que, da safra estimada 2011/2012 de 43 milhões de sacas de café beneficiados (60kg X 43 milhões = 2 bilhões 580 milhões de quilos), teríamos no mínimo de resíduo palha 2,5 bilhões de quilos. Somando-se a este, outros resíduos como galhos e folhas, representam grande quantidade biomassa, que passado pelo processo de briquetagem, resultará em fonte alternativa de energia.

Vale ressaltar, ainda, que a produção de briquetes está abaixo da capacidade instalada no Brasil, somente no Estado de São Paulo é produzido, atualmente, apenas 2.400 toneladas de briquetes por ano, sendo que esse estado apresenta uma capacidade produtiva de 10.320 toneladas por ano e que a produção de briquetes a partir de biomassa vegetal, no Brasil, poderia superar as 180.000 toneladas/ano (FELFLI *et al.*).

## **5 CONCLUSÕES**

A briquetagem com o emprego da biomassa advinda de resíduos gerados pelo beneficiamento do café, bem como pelo sistema de produção safra zero, é viável tecnicamente por produzir briquetes, dentro dos parâmetros de qualidade, e por ser um processo de produção de energia sustentável.

## 6 BIBLIOGRAFIA

ALVES JUNIOR, F. T; SANTOS, G. A. Potencial de geração de biomassa para briquetagem e o perfil do mercado consumidor deste insumo na região do Cariri-CE. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2.; SEMINÁRIO EM TECNOLOGIA DA MADEIRA E PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIRÁVEIS, 1., 2002, **Anais...**Curitiba: FUPEF, 2002.

ANGLE'S, M. N. et al. Suitability of steam exploded residual softwood for the production of binderless panels: Effect of the pretreatment severity and lignin addition. **Biomass and Bioenergy**, v.21, p.211- 224, 2002.

ANTUNES, R. C. Briquetagem de carvão vegetal. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/ CETEC. **Carvão vegetal: destilação, propriedades e controle de qualidade**. Belo Horizonte,1982. v.1, p. 197-206.

\_\_\_\_\_. Resíduos Sólidos – Classificação. NBR 10.004. Rio de Janeiro, 2004.

ASTM – AMERICAN, SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS “STANDARDS”. Chemical Analysis of wood Charcoal. **Annual Book of ASTM standards**, Philadelfia. v.410, p. 257 – 263, ‘964. (ASTM D – 1762).

\_\_\_\_\_. Section D 3176 – 74, 1983.

\_\_\_\_\_. Section D 3172 a D 3175 – 73, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Método de Ensaio para a Determinação do Poder Calorífico** : ABNT-NBR 2015. Rio de Janeiro, 1966. 31p. (ABNT – NBR 2015).

\_\_\_\_\_. – ABNT. NBR 8112. Carvão Vegetal – análise imediata, out./1986

AYOUB, N., WANG, K., SEKI. H., NAKA, Y. Towards sustainable electricity production from Japanese forestry residues: supply chains scenarios and parameters estimation model. **Journal of life cycle Assessments**, Japan, v.2, n.3 july 2006.

BECH, N.; JESEN, P. A.; DAM-JOHANSEN, K. Determining the elemental composition of fuel by bomb calorimetry and the inverse correlation of HHV with elemental composition. **Biomass & Bioenergy**. Amsterdam, v.33, n. 3, p. 534 – 537, 2009.

BHATTACHARYA, S. C. Fuel For Thought. **Renewable Energy World**, v.7, n. 6, p. 122 – 130, 2004.

BILGEN, S.; KAYGUSSUZ, K. The calculation of the chemical exergies of coal-based fuels by using the higher heating values. **Applied Energy**, London, v. 85, n. 8, p. 776 – 785, 2008.

**BIOMAX**. Briquetes. Disponível em: < [www.biomaxind.com.br/site.html](http://www.biomaxind.com.br/site.html)> Acesso 15 set .2010.

**BRASIL/MAPA** Programa Nacional de Agroenergia – PNA. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2005a. p.7.

**BRASIL/MAPA** Programa nacional de agroenergia – PNA. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2005b. p.94. Disponível em:< [www.mapa.gov.br](http://www.mapa.gov.br). >Acesso em: 10 set. 2010

BRITO, J. O. Expressão de produção florestal em unidades energéticas. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANBO, 1. CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, V. 3, p. 280 – 282.

BRINGEZU, S. et al. (owards a sustainable biomass strategy. Discussion Paper No. 163. Wuppertal Institute, 2007. Disponível em: <<http://www.wupperinst.org>. > Acesso 22 mar. 2011.

BRUM, S. S. et al. . Caracterização química do resíduo da colheita de feijão (palha de feijão). In: CONGRESSO DOS PÓS-GRADUANDOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, 15., 2006, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2006. CD-ROM.

BRUM, S. S. **Caracterização e modificação química de resíduos sólidos do beneficiamento do café para produção de novos materiais.** 2007. 138p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

BUSSOLANET. Dados de Ouro Fino. Disponível em:

<[www.bussolanet.com.br/cidades/geografia.asp?id=37](http://www.bussolanet.com.br/cidades/geografia.asp?id=37). >Acesso em 20 Ago.2010.

CANMET Energy Technology Centre. **Pulp and paper sludge to energy – preliminary assessment of technologies.** CANADA: Best Managed Companies, 2005. 214 p.

CARVALHO, E. A., BRINCK, V. Briquetagem, In: LUZ, A. B. da et al. **Tratamento de Minérios.** Rio de Janeiro, 2004. Cáp.15, p. 603 – 636.

CORTEZ, L. A. B; LORA, E. S. **Tecnologia de Conversão Energética de Biomassa.** Manaus, AM: Editora da Universidade do Amazonas, 1997. 527 p.

CORTEZ, L. A. B; PÉREZ, J. M; **Pirólise é melhor que Hidrólise para Obter Combustível a Partir de Resíduo Agrícola.** 2008.

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

COUTO, L. et al. Produção de pellets de madeira - o caso de Bio Energy no Espírito Santo. **Biomassa & Energia.**, v.1, n.1, p 45-52, 2004.

DE SENA, R. F. **Avaliação da biomassa obtida pela otimização da flotação de efluentes da indústria de carnes para geração de energia.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química e de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ERIKSSON, S.; PRIOR, M. **The briquetting of agricultural wastes for fuel**, Roma: Food and Agricultural Organization of the United Nations, 1990.

EMBRAPA. **Agricultura orgânica** 2008a. Disponível em:  
[www.cnpab.embrapa.br/publicações/projetos/sistemasdeprodução/café/fundamentos.htm](http://www.cnpab.embrapa.br/publicações/projetos/sistemasdeprodução/café/fundamentos.htm). Acesso em 10 Out. 2010.

\_\_\_\_\_. **Produção integrada** 2009. Disponível em:  
<[WWW.cnpma.embrapa.br/projetos/prod\\_int/conhecendoapi.htm1](http://WWW.cnpma.embrapa.br/projetos/prod_int/conhecendoapi.htm1)>. Acesso em 10 out.2010

\_\_\_\_\_. **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Agrenergia**, 2011. Disponível em:< <http://www.cnpae.embrapa.br>>Acesso em: 21 nov. 2011.

FELFLI, F. F. **Torrefação de biomassa, viabilidade técnica e potencial de mercado**. 2003. 137 f.Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas – Campinas, 2003.

FELFLI, F. F. et al. Biomass briquetting and its perspectives in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v.35, p.236-242, 2011.  
Disponível em: < <http://www.elsevier.com/locate/bhiombios>> Acesso em: 20 mar. 2012.

FERREIRA, D. F. SISVAR – Sistema de análises estatísticas. Lavras: UFLA. 1999.

GAZZONI, D. L. Biotecnologia e agroenergia: um bom negócio. **Gazeta mercantil**, 5.22.2007

GENTIL, L. V. B. **Tecnologia e Economia do Brique de Madeira**. 2008. 195 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade de Brasília – UnB. Brasília – DF, 2008.

GIOMO, G. S. **Informações eletrônicas: centro de Café Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas**, 2006. 10 p.

GOLDEMBERGER, J.; COELHO, S. T. Present status of biomass use in Brazil. In: INTERNATIONAL SEMINAR USP-PETROBRÁS ON BIOMASS FOR ENERGY PRODUCTION, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: COPERSUCAR, 2000. 49p.

GONÇALVES, J. E., SARTORI, M. M. P., LEÃO, A. L. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de eucalyptus grandis. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 657 – 661, jan. 2009.

GRANADA, E. et al. Fuel lignocellulosic briquettes, die desingn and products study. **Renewable Energy**. v.27, p. 561-573, 2002.

GRIPPI, Sidney. **Reciclagem e sua História: guia para as prefeituras municipais**. Rio de Janeiro, 2001. 132 p.

GROVER, P. D.; MISHRA, S. K.; CLANCY, J. S. Devvelopment of appropriate biomass briquetting technology suitable for production and use in developing countries. **Energy for sustainable development**, Bangalore, v. I, n.1, p. 45 – 48, may 1994

HAN, J.; KIM, H. **The reduction and control technology of tar during biomass gasification/pyrolysis: an overview**. *Renewable Sustainable Energy Rev.* 2008; 12:397. Disponível em: <<http://www.biomass.org>>. Acesso em 20 jun. 2011.

IVANOV, I. P.; SUDAKOVA, I. G.; KUZNETSOW, B. Manufacture of Briquetted and Granulated Fuel from Lignite with Biobinders and Heated Die. **Chemistry for Sustainable Development** , v.11, p. 847- 852, 2003.

LI XT, GJ ET AL. Biomass gasification in a circulating fluidized bed. **Biomass Bioenerg** , v.2, n.6, p.171-193. Disponível em: <<http://www.bioenergyinternational.com>> Acesso em 20 jun. 2011.

KIPERSTOK, A. et al. **Prevenção da poluição**. Brasília: SENAI, 2002. 295 p.  
Disponível em:< <http://www.teclim.ufba.br> > Acesso em: 04 jan. 2010.

LEHTIKANGAS, P. Quality properties of palletized sawdust, logging residues and bark. **Biomass & Bioenergy**, v. 20,p. 351–360, 2001.

MAYER, F. D.; CASTELLANELLI, C.; HOFFMAN, R. **Geração de Energia Através da casca de arroz: Uma Análise Ambiental**. Em Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção , 27, 2007, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2007.

MORAIS, S. A. L. de , NASCIMENTO, E. A. do, MELO, D. C. de. Analise da madeira de *Pinus oocarpa* parte 1 – estudo dos constituinte macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 461 – 470, 2004.

MUNALULA, F.; MEINCKEN, M. An evaluation of South African fuelwood with regards to calorific value and environmental impact. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.33, n. 3, p.415 – 420, mar. 2009.

NAKA, Y. et al. Proc. Of 7th International Symposium on **Process Systems Engineering**, Keystone, Colorado, USA, v.2, n.3, p.665-670, july 2006

NASCIMENTO, S. M., DUTRA, R. I. J. P.; NUMAZAWA, S. Resíduos de industria madeireira: Caracterização, conseqüências sobre o meio ambiente e opções de uso. **Holos Environment**, Rio Claro, v.6, n.1, p. 8 – 21, 2006.

OBERNBERGER, I., BRUNNER, T., BÄRNTHALER, G. Chemical properties of solid biofuels – significance and impact. **Biomass & Bioenergy**, n. 30, p. 973 -982, sept.2006.

ORGANIZAÇÃO DE COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). OCDE/FAO, 2007

OLIVEIRA, E.G.; COSTA, T.E. **Manual de podas do cafeeiro**. Belo Horizonte: Bayercropscience, 2001

QUIRINO, W. F. Briquetagem de resíduos ligno-celulósico. **Circular técnica do Laboratório de Produtos Florestais – LPF**, Brasília, v. 1, n. 2, p.69-80, 1991.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília: LPF/IBAMA, 2003.14 p.

QUIRINO, W. F., et al. . Poder Calorífico da Madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa e Energia**. v. 1, n. 2, p. 173 – 182, abr/jun .2004.

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

RAMOS e PAULA, L. E. de. et al. Characterization of Residues From Plant Biomass for Use in Energy Generation. **Cerne, Lavras**, v. 17, n. 2, p. 237- 246, abr./jun. 2011.

REED, T.; BRYANT, B. **Desified Biomass: A New Form of Fuel**, Solar Energy Research Institute (SERI). Report 35, The Solar Energy Reserch Institute, Goldern Colorado, USA, 1978.

REIS, B. de O. et al. Produção de briquetes energéticos a partir de caroço de açaí. In: **Energético Meio Rural**, Campinas, v.4, out. 2002. **Anais...** CD AGRENER.

RIGHELATO, R.; SPRACKLEN, V. Carbon mitigation by biofuels or by saving and restoring forest. **Science**, v. 317, p. 902.

ROCHA, F. C. et al. Casca de café em dietas para vacas em lactação: consumo, digestibilidade, produção e composição de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v 35, n. 5, p. 2163 – 2171, 2006.

RODRIGUES, V. A. J. **Valorização energética de lodo biológico da indústria de polpa celulósica através da briquetagem**. 2010. 134 f. Dissertação( Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SALEME, J.E.F.; **Estudo básico para briquetagem do carvão vegetal**. Ouro Preto: Escola de Minas e Metalurgia. 1992. 19 p.

SAPCANA – **Sistema de Acompanhamento da Produção Canavieira (2001)** MAPA – Ministério Agricultura Pecuária e Abastecimento.

SHAW, M. D.; KARUNAKARAN, L. G.; Tabil. Physicochemical characteristics of densified untreated and steam exploded poplar wood and wheat straw grinds. *Biosystems Engineering*. ELSEVIER, vol. 103, (2009), p. 198-207. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511009000671>> Acesso em: 10 dez 2010.

SCHARLEMANN, J. P. W.; LAURENCE, W. F. How green are biofuels? *Science*, v. 319, p. 34-44, 2008.

SEYE, O.; CORTEZ, L. A. B.; GOMEZ, E. O. Estudo cinético dfe biomassa a partir de resultados termogravimétricos. **Energia no meio rural**, Campinas, n. 3 , 2003. Disponível em:<[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.Php?pid=MS00000002000000200022&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.Php?pid=MS00000002000000200022&script=sci_arttext)>

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

SOKHANSANJ, S. et al. (2005). **Binderless pelletization of biomass. In Presented at the ASAE Annual International Meeting**, p.17-20,july 2005. Tampa. FL. ASAE, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085-9659, USA. ASASE Paper No. 056061. Disponível <http://www.scendirect.com/science/article/pii/S1537511009000671>. Acesso em: 10 dez. 2010.

SOTANNDE, O. A., OLUYEGE., ABAH, G. B. Physical and combustion properties of briquetes from sawdust of AZADIRACHTA INDICA, **Journal of Reserch**, v.21, n.1, p. 63 – 67,2010.

STOUT. B.A.; BEST. G. 2001. Effective energy use and climate change: needs of rural areas in developing countries. *Agricultural Engineering International: the CIGR E-Journal of Scientific Research and Development*. 3: 19p.

Disponível em:<<http://scipub.org1fulltext/ajas/ajas>> Acesso em 10dez 2010

SUAREZ, J. A., LUENGO, C. A. Coffee husk briquettes: a new renewable e3nergy source. **Energy Source**, v. 25, n. 10, p. 961 – 967, out. 2003.

TELMO, C.; LOUSADA, J.; MOREIRA, N. Proximate analysis, backwards stepwise regression between Gross calor´fic value, ultimate and chemical analysis of wood. **Bioresource Technology**. Essex, v. 101, n. 11, p. 3808 – 3815, 2010.

THOMAZIELLO, R. A. Poda: Programa safra zero. Disponível em: [http://www.mesagro.com.br/cafe/art\\_poda\\_prog\\_saf\\_zero.asp](http://www.mesagro.com.br/cafe/art_poda_prog_saf_zero.asp). Acesso em 10 set. 2010

VALE, A.R.; GENTIL, L. V. Produção e uso energético de biomassa e resíduos agroflorestais. In: **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III**. Rio Branco: Suprema, 2008. P. 195-241.

VALLE, C. E. **Qualidade Ambiental**: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente. São Paulo: Pioneira. 1995.

VAN DAM, J. E. G. et al. Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk. Part 1: Lignin as intrinsic thermosetting binder resin. **Industrial Crops and Products**, 19, p.207–216, 2004.

VILELA, F. G. et al. Uso da casca de café melosa em diferentes níveis na alimentação de novilho confinados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 198-205, jan./fev. 2001.

VIRMOND, E. Aproveitamento do lodo de tratamento primário de efluentes de frigorífico como fonte de energia. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2007.

WILAIPOON, P., 2007. Physical characteristics of maize cob briquette under moderate die pressure. **Am. J. Applied sci**, v. 4, p.995 – 998. Disponível em: <<http://scipub.org/fulltext/ajas/ajas>> Acesso em: 20 out 2011.

WOOD, J.; HALL, D. O. **Bioenergy for development**: technical and environment dimensions. Rome: FAO, 1995. 300p.