UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

# QUALIDADE DE CAVACOS PRODUZIDOS EM SISTEMAS FLORESTAIS DE CURTA ROTAÇÃO DE EUCALIPTO PARA FINS ENERGÉTICOS

**NATALIA SOUSA CERAGIOLI**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP
Agosto – 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

# QUALIDADE DE CAVACOS PRODUZIDOS EM SISTEMAS FLORESTAIS DE CURTA ROTAÇÃO DE EUCALIPTO PARA FINS ENERGÉTICOS

**NATALIA SOUSA CERAGIOLI**
Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra
Co-orientador: Prof. Dr. José Mauro Santana da Silva

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP
Agosto – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO – SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Ceragioli, Natalia Sousa, 1986-
C411q Qualidade de cavacos produzidos em sistemas florestais de curta rotação de eucalipto para fins energéticos / Natalia Sousa Ceragioli. – Botucatu : [s.n.], 2013
viii, 47 f. : grafs., tabs., ils. color., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2013
Orientador: Saulo Philipe Sebastião Guerra
Coorientador: José Mauro Santana da Silva
Inclui bibliografia

1. Eucalipto. 2. Cultivos agrícolas energéticos. 3. Resíduos de madeira - Exploração. 4. Biomassa. I. Guerra, Saulo Philipe Sebastião. II. Silva, José Mauro Santana da. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. IV. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS**

**CAMPUS DE BOTUCATU**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO: **"QUALIDADE DE CAVACOS PRODUTIZIDOS EM SISTEMAS FLORESTAIS DE CURTA ROTAÇÃO DE EUCALIPTO PARA FINS ENERGÉTICOS"**

ALUNA: NATALIA SOUSA CERAGIOLI

ORIENTADOR: PROF. DR. SAULO PHILIPE SEBASTIÃO GUERRA

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROF. DR. SAULO PHILIPE SEBASTIÃO GUERRA

PROF. DR. FABIO MINORU YAMAJI

PROFA. DRA. FRANCIÁNE ANDRADE DE PÁDUA

Data da Realização: 06 de agosto de 2013

*Aos meus pais, Lazara e Paulo.*

**DEDICO**

*À toda minha família*

*Aos amigos, que são parte da família*

**OFEREÇO**

“Se eu soubesse que o mundo acabaria amanhã,
hoje ainda plantaria uma árvore”
**(Martín Luther King)**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus acima de tudo.

Ao professor Saulo Guerra, por toda a orientação ao longo desta jornada, todos os conselhos, ensinamento e oportunidades proporcionadas.

Aos professores Kléber Pereira Lanças, José Mauro Santana, por participarem e contribuírem com este trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Economia, Sociologia e Tecnologia, Marcos, Mário e Nivaldo pelas constantes ajudas.

A todos integrantes e ex-integrantes do NEMPA, que nunca negaram uma ajuda, pelos conhecimentos, pelo companheirismo, pela paciência.

A Índia pela convivência e paciência ao longo desses 2 anos de mestrado.

Aos amigos de turma Marcella (Canola), Hugo (Tandy), Ana Carolina (Topera), pelo companheirismo e experiência de vida adquirida ao longo destes 9 anos de convivência.

Aos amigos de pós Fran, Carol, Tati, Marísia (Ritinha), Giulia (Sequoia).

E aos amigos Guto (Mon), Natália (Vagão), Mariana (Teo), Bruno (23), Marina por tornarem essa jornada mais leve e divertida, mesmo não estando por perto.

À minha família, pelo apoio que recebi e recebo em todos os dias da minha vida.

A todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho.

**SUMÁRIO**

LISTA DE FIGURAS ..... VII
LISTA DE TABELAS ..... VIII
1 RESUMO ..... 1
2 SUMMARY ..... 2
3 INTRODUÇÃO ..... 4
4 REVISÃO DE LITERATURA ..... 6
4.1 Uso da madeira de eucalipto para a produção de energia ..... 6
4.2 Sistemas florestais de curta rotação (SFCR) ..... 8
4.3 Cavacos de madeira ..... 10
4.4 Propriedades Físicas ..... 11
4.4.1 Densidade básica da madeira ..... 11
4.4.2 Densidade de carga ..... 12
4.4.3 Poder calorífico ..... 14
4.4.4 Granulometria ..... 15
4.4.5 Teor de umidade ..... 16
5 MATERIAL E MÉTODOS ..... 18
5.1 Descrição do projeto ..... 18
5.2 Ensaio piloto ..... 19
5.2.1 Localização da área ..... 19
5.2.2 Caracterização da área ..... 19
5.2.3 Diâmetro, altura, densidade básica e volume ..... 20
5.2.4 Poder calorífico ..... 21
5.2.5 Granulometria ..... 22
5.2.6 Umidade ..... 22

5.2.7 Densidade de carga.....23
5.3 Ensaio de campo.....25
5.3.1 Localização da área.....25
5.3.2 Caracterização da área.....25
5.3.3 Diâmetro, altura e volume.....26
5.3.4 Umidade.....26
5.3.5 Densidade de carga.....28
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....30
7 CONCLUSÕES.....40
8 REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....41

# LISTA DE FIGURA

Figura 1. Fatores de volume sólido para diversos produtos florestais (Bjorheden, 1990; citado por Hankin & Mitchell, s.d.), adaptado por Ceragioli, 2013. ..... 13

Figura 2. Medidor de umidade. ..... 23

Figura 3. Carreta instrumentada CTC, utilizada em ensaio de piloto..... 24

Figura 4. Medidor de umidade humimeter BLL. ..... 28

Figura 5. Caminhão tipo truck utilizado em ensaio de campo. ..... 29

Figura 6. Distribuição das granulometrias para as diferentes regulagens. ..... 33

Figura 7. Gráfico com médias de peso de acordo com dimensão de cavacos. ..... 35

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de volume com casca (VCC), poder calorífico superior (PCS) e densidade básica média (DBM), encontrados na área de estudo. ..... 30

Tabela 2. Valores percentuais médios da quantidade de cavacos em cada classe granulométrica e regulagem do picador. ..... 32

Tabela 3. Análise de variância do peso ..... 34

Tabela 4. Análise de variância da densidade de carga ..... 34

Tabela 5. Valores médios de peso e densidade de cavaco, em 6 diferentes dimensões. ..... 34

Tabela 6. Valores médios de altura (Ht), diâmetro (DAP) e poder calorífico superior (PCS), encontrados na área. ..... 36

Tabela 7. Comparação entre as umidades encontradas estufa x mugmobil. ..... 36

Tabela 8. Comparação entre as umidades encontradas estufa x humimeter. ..... 37

Tabela 9. Média de densidade, volume de cavaco, volume em pé e total de área colhida para diferentes clones, à granulometria a 33 mm. ..... 38

## 1 RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar densidade de carga da produção de cavacos em função da granulometria de dois sistemas florestais de curta rotação de *Eucalyptus urograndis.* Um ensaio foi realizado em Botucatu- SP, o plantio da área em ocorreu em julho 2010, com espaçamento de 2,8 x 1,5 m, e com 30 meses a área foi colhida, com a utilização de uma carreta com células de carga e com volume conhecido e foi realizada pesagens para seis dimensões de cavacos (5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm e 33 mm) tendo três repetições para cada, para poder determinar a densidade de carga. Em janeiro de 2010, foi implantado em Taiobeiras- MG, o outro ensaio, com os diferentes clones (I-144, I-224, I-042 e I-60) no espaçamento de 4,0 x 0,5 m com a finalidade de produção de bioenergia na forma cavacos de 33 mm. A colheita foi realizada com 37 meses, com uma carreta de volume conhecido e uma balança rodoviária para determinar a densidade de carga. Para os dois ensaios foi utilizado o mesmo sistema mecanizado específico para produção de cavaco. Os resultados foram analisados pela análise de variância e, posteriormente, teste de Tukey. Concluindo que quanto maior dimensão dos cavacos menor a densidade de carga e que numa mesma situação para diferentes clones da mesma espécie de eucalipto se encontra diferentes valores de densidade de carga.

Palavras-chave: bioenergia, floresta energética, densidade de carga.

QUALITY OF EUCALYPTUS CHIPS PRODUCED IN SHORT ROTATION FORESTRY SYSTEM FOR ENERGY PURPOSES. Botucatu, 2013. 56 p. Dissertation (Master Science in Agricultural Energy) – Agronomical Science College, Sao Paulo State University

Author: NATALIA SOUSA CERAGIOLI

Advisor: SAULO PHILIPE SEBASTIÃO GUERRA

Co-advisor: JOSÉ MAURO SANTANA DA SILVA

## 2 SUMMARY

This study aimed to evaluate the bulk density of a wood chip production as a function of particle size of two short forestry rotation system of *Eucalyptus urograndis*. One trial was conducted in Botucatu-SP, the planting area occurred in July 2010, with spacing of 2.8 x 1.5 m, and within 30 months the area was harvested with the use of a trailer with load cells and known volume, and was weighing carried out for six dimensions chip (5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm and 33 mm) with three replicates for each, in order to determine the bulk density. In January 2010, it was deployed in Taiobeiras-MG, the second test, with different clones (I-144, I-224, I-042 and I-60) at a spacing of 4.0 x 0.5 m with purpose of bioenergy production in

the form of 33 mm wood chips. The harvest was performed 37 months, with a cartload of known volume and scale road to determine the bulk density. For both tests the same specific mechanical system was used to produce chip. The results were analyzed by analysis of variance and then the Tukey test. In conclusion that the larger dimension of the wood chips minus the bulk density and in the same situation for different clones of the same species of eucalyptus is different values of bulk density.

Keywords: bioenergy, short forestry rotation, bulk density.

## 3 INTRODUÇÃO

A biomassa florestal, é, provavelmente, o combustível mais antigo e conhecido do homem, já que o início de sua utilização está diretamente vinculado ao descobrimento do fogo. Nos dias atuais, esta utilização está normalmente relacionada com os produtos secundários dela obtidos, como, por exemplo, o carvão vegetal e a lenha. Recentemente, tem-se consolidado, também, o uso de cavacos (VALVERDE et al., 2012).

Os plantios de florestas com espécies de rápido crescimento, para a geração de energia são conhecidos de longa data, no entanto com os avanços tecnológicos no campo da colheita e condução florestal hoje é possível explorar as florestas em curtas rotações e espaçamentos reduzidos, inclusive com o cavaqueamento de toda a árvore, surgindo um novo conceito de sistema silvicultural. Segundo Guerra et al., 2012 o sistema florestal de curta rotação (SFCR) é um conceito para geração de energia que apresenta um sistema com relação direta na produção de matéria-prima em quantidade e qualidade superior, obtido num intervalo de tempo reduzido, a custos inferiores, quando comparados aos sistemas silviculturais convencionais.

Porém para otimizar este sistema são necessárias pesquisas envolvendo diversos setores da cadeia de produção florestal, como os sistemas de corte, transporte, beneficiamento e qualidade dessa biomassa.

Neste sentido, são necessários pesquisas de qualidade da biomassa gerada nos SFCRs envolvendo os parâmetros de umidade, poder calorifico e composição granulométrica de forma a promover uma combustão mais eficiente, além de um melhor aproveitamento da carga a ser manejada, armazenada e transportada.

Diante do cenário favorável ao desenvolvimento de plantações energéticas como fonte de matéria-prima para geração de energia e da aptidão do Brasil em fornecer ao mundo energia limpa por meio da biomassa florestal, graças às suas condições edafoclimáticas e à sua enorme disponibilidade de terras, é urgente e estratégico o estudo tanto da implantação dos SFCR quanto da qualidade da biomassa produzida.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a densidade de carga da produção de cavacos em função da granulometria e do material genético de um sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.

# 4 REVISÃO DE LITERATURA

## 4.1 Uso da madeira de eucalipto para a produção de energia

No cenário mundial, o uso da madeira na geração de energia vêm crescendo continuamente ao longo da última década, incentivado principalmente pelas questões ambientais, no sentido de reduzir as emissões de gases nocivos à atmosfera e aumentar o uso de fontes renováveis (MÜLLER, 2005).

No Brasil as fontes renováveis de energia representam 42,4% da matriz energética. Sendo desses 42,4% de energia renovável, 13,8% correspondem à energia hidráulica e 24,5% à energia de biomassa, sendo que aproximadamente 9,1% são de origem florestal (lenha e carvão vegetal) (BRASIL, 2013).

O Brasil, segundo a ABRAF (2013), possui uma área de plantios de *Eucalyptus* de 5.102.030 ha, tendo um crescimento de 4,47 % se comparado ao ano de 2011. O estado de São Paulo contribuía em 2012 com 1.041.695 ha, sendo quase todo referente a madeira serrada e energia. Ficando atrás apenas do estado de Minas Gerais que possuía uma área plantada de 1.448.971 ha.

As espécies do gênero *Eucalyptus spp* são as principais espécies para o fornecimento de biomassa para geração de energia (CORTEZ et al., 2009) e se destaca com as altas produtividades obtidas em plantações florestais, fazendo com que os custos de geração da eletricidade com madeira de reflorestamento possam ser minimizados, tornando o investimento mais atrativo (MACEDO, 2003).

Uma forma de utilizar esse eucalipto é como biomassa energética (lenha, cavaco, briquete, pellet). A biomassa é a forma mais antiga de energia utilizada pelo homem e vêm sendo tradicionalmente usada na combustão direta, processo que é largamente usado em muitas partes pelo mundo (DERMIBAS et al., 2009).

Embora o uso de lenha para geração de energia seja tradicionalmente um indicador do nível de subdesenvolvimento econômico da região, no caso brasileiro este aumento do consumo (5% a.a. no período de 2001 a 2011) é decorrente principalmente do crescimento industrial (siderurgia a carvão vegetal, agroindústria, indústria cerâmica e de alimentos), tendo sido já criado o termo “florestas energéticas” para o cultivo do eucalipto e pinus destinado a fornecer madeira para a geração de energia, principalmente para processos industriais (ABRAF, 2012).

Segundo o BNDES (2011), o Brasil é um dos poucos países em que existem florestas energéticas em larga escala, principalmente pela alta produtividade dessas florestas, passando a ter uma das melhores produtividades do mundo com relação a florestas de eucalipto. Todo esse desenvolvimento qualifica o país para a exploração de florestas plantadas, por meio do aproveitamento da sua biomassa, sem promover o desflorestamento.

## 4.2 Sistemas florestais de curta rotação (SFCR)

O sistema florestal de curta rotação é um conceito para geração de energia que apresenta um sistema com relação direta na produção de matéria-prima em quantidade e qualidade superior, obtido num intervalo de tempo reduzido a custos inferiores, quando comparados aos sistemas silviculturais convencionais (GUERRA et al., 2012).

A floresta de curta rotação é conduzida em condições que diferem do manejo convencional em alguns aspectos, entre eles: a utilização uma manejo intensivo (alto controle de mato competição, fertilização e irrigação) e alta densidade de árvores no plantio (CHRISTOPHERSON; MATTSON, 1990).

Os espaçamentos de plantio estudados para florestas energéticas de curta rotação variam de 2,8 m a 3,0 m entre linhas e 0,5 a 3,0 m entre plantas (GARCIA et al., 2011; MÜLLER, 2005). O aumento da densidade de plantio proporciona uma maior produção volumétrica de madeira por hectare (SANTOS, 2011).

Além da silvicultura, sistemas mecanizados de colheita e transporte, com colhedoras específicas para a função, são fundamentais e determinantes para garantir a viabilidade econômica dos novos sistemas florestais de curta rotação (LANÇAS; GUERRA, 2012). Uma vez que os espaçamentos adensados não permitem a mecanização utilizadas nos sistemas silviculturais tradicionais.

O desenvolvimento de equipamentos para colheita de florestas de curta rotação começou no início da década de 1990, e tem produzido uma série de benefícios econômicos e ambientais para os países que adotaram esse novo conceito de produção (GUERRA et al., 2012).

As florestas de curta rotação podem ser colhidas num corte combinado e em um sistema de cavaqueamento com colheitadeiras forrageiras modificadas, usadas para o milho e outras culturas anuais, que são automotor ou trator montado. A plataforma de corte padrão é substituída por uma plataforma de corte especial, que é construída de modo a cortar biomassa lenhosa. As espécies são plantadas em linhas, com um sistema de maior densidade de plantas quando o foco é o uso de energia de biomassa. Os caules são colocados horizontalmente na plataforma de corte onde serão cortadas diretamente. Geralmente, os cavacos são soprados (lançados) em um trailer que acompanha a colheitadeira, onde o cavaco é transportado para um armazenamento provisório ou definitivo (SAMBRA et al., 2008).

O desempenho dessas colhedoras pode ser afetado pelas características da floresta, mais especificamente, pela densidade de plantio e pelas práticas de manejo no campo, pois estes parâmetros podem influenciar a produtividade da máquina. Além disso, também pode reduzir o desempenho destas máquinas, falhas mecânicas e sistema de transportes subdimensionados. Por isso, transporte de cavaco de madeira se faz necessária uma avaliação logística mais cuidadosa (FIALA e BACENETTI, 2012).

Nesse tipo de sistema de florestas de curta rotação a madeira é convertida em cavaco e direcionada para a queima direta em caldeiras ou é processada na forma de briquetes e pellets, a fim de melhorar suas características físicas e térmicas (GUERRA et al., 2012). Pela diversidade de produtos, as florestas energéticas num sistema de curta rotação têm um potencial bastante promissor como fonte de biomassa para a geração de energia.

### 4.3 Cavacos de madeira

O cavaco é constituído por pequenos pedaços de madeira oriundos da picagem ou destroçamento, com um comprimento variável entre 5 e 50 mm, obtidos por estilhaçamento na direção da fibra nos picadores a disco ou em corte reto nos picadores a tambor contendo ainda partículas mais longas e uma razoável porcentagem de finos (GRUNKRAUT, 2012). A qualidade do cavaco depende da matéria-prima e da tecnologia utilizada na sua produção.

Para o cavaco entrar num sistema e ser utilizado como combustível deve-se manter um teor de umidade inferior a 30% a fim de manter a eficiência da produção. Outro fator importante é a especificação do tamanho da partícula. A degradação do cavaco de madeira (perda de matéria seca) deve ser minimizada para os plantios energéticos para que se mantenha economicamente viável (GARSTANG et al., 2002).

Na utilização de madeira como combustível, é imprescindível caracterização dessa, que tem sido realizada pela determinação das propriedades físicas (granulometria, massa especifica, densidade de carga e teor de umidade), pela análise imediata, análise elementar, análise somativa e poder calorifico (MOERS et al., 2011). O conhecimento sobre a composição e as propriedades da biomassa são importantes na busca pela melhor utilização desse material do ponto de vista energético e ambiental (CHIANG et al., 2012).

Segundo Valverde et al. (2012), o insumo florestal, conhecido como cavaco, já é competitivo aos seus concorrentes derivados do petróleo. De acordo com os mesmos autores, o cavaco pode contribuir para uma redução de aproximadamente 50% dos custos de produção de vapor e energia quando comparado com o petróleo, mas tem encontrado dificuldade de se expandir no mercado. Isto acontece em virtude da falta de uma política governamental que

estimule a substituição tecnológica dos equipamentos (caldeiras) nas indústrias e a facilidade no manuseio destes combustíveis fósseis (petróleo).

## 4.4 Propriedades Físicas

### 4.4.1 Densidade básica da madeira

A densidade básica é uma das características da madeira que melhor expressa sua qualidade para uso na propriedade agrícola ou transformação industrial (RIBEIRO e FILHO, 1993). Além de ser de fácil determinação e estar relacionada às suas demais características (SHIMOYAMA e BARRICHELLO, 1991).

Em função de sua importância e facilidade de determinação, frente aos outros parâmetros de qualidade, a densidade básica é a característica da madeira mais estudada e difundida industrialmente. Além de também influenciar no manejo das florestas de eucalipto. Esta característica é de grande importância na definição da idade de corte, devido ao seu incremento observado ao longo dos anos (RIBEIRO e FILHO, 1993).

Em árvores de *E. grandis*, foi confirmado o aumento sistemático da densidade da madeira com a idade das árvores (VITAL et al., 1987). A variabilidade da densidade da madeira de árvores de espécies de eucalipto é confirmada pela análise de variância das fontes de variação em árvore, altura e direção radial no DAP (OLIVEIRA, et al, 2005).

Segundo estudo feito por Ribeiro e Filho, 1993 constatou que a densidade básica da madeira de *E. dunnii*, *E. pellita e E. urophylla* nos

respectivos locais e idades de amostragem apresentaram valores médios superiores a 0,510 g/cm3, enquanto *E. grandis* e *E. saligna* apresentaram valores inferiores a este, que há uma tendência de baixa variação da densidade básica entre as procedências de *E. grandis*. Houve decréscimo na densidade básica, com a melhoria das condições edafoclimáticas, observada no sentido norte-sul do Estado de São Paulo; as densidades básicas de *E. grandis* e *E. dunnii,* amostradas no campo local, entre as idades de 63 e 100 meses, apresentaram aumentos de 9,8% e 8,0%, respectivamente.

A madeira mais densa apresenta maior quantidade de substância madeira em um mesmo volume, portanto a porosidade e a capilaridade para entrada de líquidos também serão menores, além disso, as madeiras mais densas geralmente produzem cavacos mais espessos (FOELKEL, 2009).

A madeira de densidade alta é mais dura e mais difícil para picar, portanto necessitam de ajustes da operação, mais manutenção do picador e aumento no consumo de energia, e produz cavacos com dimensões mais variadas (PARHAM, 1983).

Madeira mais homogênea, no que diz respeito à sua densidade no interior do tronco, poderá se comportar melhor nas operações de processamento e refletir maior uniformidade nas demais propriedades tecnológicas. As peças de madeira com menor variação de densidade são adequadas para utilizações que exigem material homogêneo e com menor variabilidade nas propriedades físico-mecânicas (OLIVEIRA, et al, 2005).

### 4.4.2 Densidade de carga

Existe atualmente um interesse crescente por parte de algumas empresas brasileiras no sistema de colheita de produção de cavacos no campo. Entre as vantagens, pode-se citar que a essa produção de cavacos é

potencialmente mais econômica do que sistemas de toras longas, no caso de árvores de menor diâmetro, por possibilitar o uso de uma parte maior da árvore (FAVREAU, 1992).

O principal problema encontrado na colheita de produção de cavacos no campo é no transporte devido a utilização da capacidade de carga do veículo. O cavaco produzido no campo é trazido em "baús" especiais e o descarregamento é feito por intermédio de plataformas elevatórias com sistema basculante. A densidade do material é baixa, exigindo veículos de transporte com maior capacidade volumétrica para atingir o peso máximo legalmente permitido (Figura 1). Os fatores de influência na densidade podem ser a distribuição do tamanho dos cavacos, o método de carregamento no veículo e a vibração aplicada ou que ocorra durante o transporte (SEIXAS, 2008).

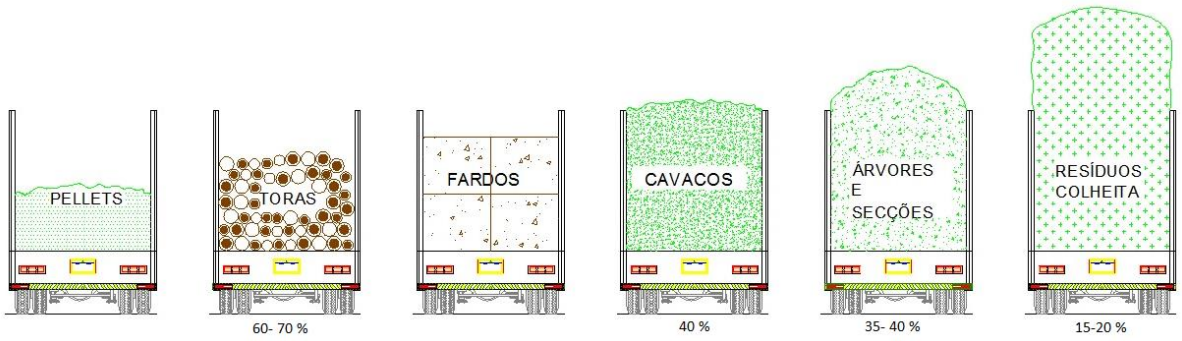


Figura 1. Fatores de volume sólido para diversos produtos florestais (Bjorheden, 1990; citado por Hankin & Mitchell, s.d.), adaptado por Natalia Sousa Ceragioli, 2013.

A maior diversidade de tamanhos permite um melhor preenchimento dos espaços vazios e maior conteúdo de espaços sólidos, enquanto uma distribuição mais uniforme deixará mais espaço entre os cavacos. A compactação forçada não é muito eficiente, por se tratar de material "elástico", recomendando-se um método de carregamento onde os cavacos sejam projetados por

ventiladores. A vibração transmitida pelo pavimento será efetiva até 20 km, sugerindo-se carregar o veículo acima do seu limite volumétrico, para posterior acomodação (HANKIN; MITCHELL citado por SEIXAS, 2008).

Considerando a legislação brasileira onde a Resolução 210/06 do Conselho Nacional de Transito (CONTRAN) restringe o comprimento, a largura e a altura de um veículo que trafega nas rodovias federais. Portanto para esse sistema de transporte de cavacos o volume útil fica reduzido, deste modo, a aproximadamente 180 $m^3$ e o peso bruto máximo permitido por lei, de 57 toneladas.

### 4.4.3 Poder calorífico

A qualidade da biomassa para fins energéticos está diretamente relacionada com a quantidade de energia gerada na combustão completa desta, também conhecido como poder calorífico. O poder calorífico pode ser expresso em poder calorífico útil (PCU), poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI). O poder calorífico útil é a energia "aproveitável" da biomassa quando esta é utilizada energeticamente nas indústrias, ou seja, é o poder calorífico da madeira desconsiderando a energia necessária para evaporar a água (umidade) presente nesta biomassa (VARANDA et al., 2009).

O poder calorífico usualmente é obtido pela queima de uma quantidade conhecida de combustível, medindo-se o calor libertado. No caso de madeira pode-se encontrar valores desde 3.000 Kcal/Kg até 5.400 Kcal/ Kg (BRITO e BARRICHELO, 1979).

DOAT (1977), cita que o poder calorífico é dito superior (PCS), quando a combustão se efetua a volume constante, e quando a água formada durante a combustão é condensada. Por outro lado, o poder calorífico dito inferior

(PCI) é aquele cuja combustão é efetuada a pressão constante, quer dizer ao ar livre, neste caso a água de combustão não é condensada.

Embora, para efeitos práticos, o poder calorífico inferior seja mais adequado, o método calorimétrico determina o poder calorífico superior (PEREIRA et al., 2000).

O poder calorífico da madeira depende do teor de umidade, da composição química (lignina, cinzas e extrativos, por ex.), do tempo de estocagem (perda de extrativos), da época da estocagem e da espécie da madeira utilizada. Para uma mesma espécie utilizada, o poder calorífero superior não é consideravelmente afetado pelas variações físicas na madeira, sendo o poder calorífero inferior fortemente afetado pelas variações na umidade, tempo de estocagem e condições de estocagem (BRAND, 2007).

Segundo Quirino et al. (2005), os valores de poder calorífico superior (PCS) da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophlylla*, se encontram entre 4501 e 4790 $kcal.kg^{-1}$ e 4422 e 4595 $kcal.kg^{-1}$, respectivamente.

### 4.4.4 Granulometria

Granulometria de cavacos é o ensaio que determina o tamanho das partículas. Segundo Kollman et al. (1975), a dimensão das partículas é uma variável de merecida importância para determinar seu tipo e tamanho, sendo estes os principais fatores a serem considerados para esse tipo de estudo.

A correta classificação granulométrica dos cavacos permite prever a energia liberada na combustão assim como assegurar o fluxo de cavacos pelo sistema de alimentação. Cavacos muito grandes impedem o fluxo de material

pelo sistema, causando entupimento. Partículas muito finas queimam rapidamente na câmera de combustão, conduzindo a variação do calor e formação de cinzas (GRUNKRAUT, 2012).

A redução granulométrica de biomassa bruta se faz necessária em diversos sistemas que necessitam dessa matéria-prima com granulometrias bem definidas e objetivam aumentar o rendimento e melhorar as condições de operação. A maior superfície específica e a maior reatividade da madeira picada em cavacos, em comparação às toras de lenha, podem aumentar a eficiência de diferentes sistemas de utilização de biomassa (NOGUEIRA, 2000).

### 4.4.5 Teor de umidade

Segundo Earl (1975), citado por CUNHA et al. (1989), é importante que o teor de umidade da madeira a ser usada como combustível seja reduzido, diminuindo assim o manejo e o custo de transporte, agregando valor ao combustível. O conteúdo de umidade máximo que uma madeira pode ser queimada no forno está em torno de 65% a 70% em base úmida. Por existir essa umidade, é inevitável que ocorra uma perda de calor nos gases de combustão em forma de vapor de água, já que a umidade da madeira evapora e absorve energia em combustão.

O teor de umidade é um dos parâmetros de maior influência na eficiência de combustão da madeira nas caldeiras de biomassa. A presença de água na madeira representa a redução do poder calorífero líquido em razão da energia necessária para evaporá-la nas fornalhas das caldeiras de biomassa. Além disso, se o teor de umidade for muito variável, o controle do processo de combustão pode se tornar difícil e consequentemente variar o processo de cogeração ou produção de energia elétrica em função da variação na produção de vapor (BARCELLOS et al.,2005).

A determinação do teor de umidade e de sua variação no tronco das árvores ou das peças de madeira é de extrema importância no seu desempenho e utilização (OLIVEIRA et al., 2005). Segundo Carmo, 1996, em *Eucalyptus maculata*, a variação encontrada no teor de umidade foi de 50-70%, no *E. citriodora* de 46-80% e no *E. grandis* de 50-133%.

# 5 MATERIAL E MÉTODOS

## 5.1 Descrição dos ensaios

Os ensaios foram realizados durante o período 2010 a 2013, os quais foram divididos em dois: ensaio piloto e ensaio de campo. Os dois ensaios foram implantados em áreas distintas com diferentes características de solo, clima e manejo.

Primeiramente foi realizado um ensaio piloto em uma área na Fazenda Três Sinos na cidade Botucatu/SP com condições experimentais, e sendo avaliadas diferentes dimensões de granulometria de cavacos, a fim de estudar as situações de densidade de carga que podem ser encontradas em áreas comerciais.

O ensaio de campo foi realizado na cidade Taiobeiras/MG, em uma área comercial, em condições reais de produção de biomassa florestal, sendo produzidos cavacos na dimensão de 33 mm que é o tamanho adotado pela empresa.

## 5.2 Ensaio piloto

### 5.2.1 Localização da área

Foram plantadas as mudas de clones híbrido de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake *x Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em uma área experimental na Fazenda Três Sinos, que se localiza no município de Botucatu, Estado de São Paulo, numa altitude aproximada de 875 m e se encontra entre as longitudes 48º24'43" W e 48º26'21" W e entre as latitudes 22º58'10" S e 22º59'25" S.

### 5.2.2 Caracterização da área

Na área experimental instalada em junho de 2010, foi conduzido o plantio do híbrido, clone C 219, onde o espaçamento adotado foi de 2,8 m para a distância entre linhas e 1,5 m entre plantas. E a adubação foi de 140 g/planta no plantio de NPK (6-30-6), 50 g/planta aos 60 dias após o plantio com NPK (20-0-20) adicionados os micronutrientes Zn (0,5%) e B (0,3%), 70 g/planta aos 140 dias após o plantio com NPK (20-0-20) adicionados os micronutrientes Zn (0,5%) e B (0,3%) e 100 g/planta aos 360 dias após o plantio com NPK (20-0-20) adicionados os micronutrientes Zn (0,5%) e B (0,3%).

O clima predominante no município, segundo critérios adotados por Koppen é Cfa, é o clima mesotérmico com temperaturas médias superiores a 10$^{o}$C, onde a temperatura do mês mais quente é igual ou superior a 22$^{o}$C e o índice pluviométrico anual está em tono de 1600 mm, de acordo com dados da Estação agrometereológica da Faculdade de Ciências Agronômicas/ UNESP.

O solo, de acordo com o levantamento realizado por Vettorato (2003) pertence à classe Latossolo Vermelho Amarelo com textura média.

A área foi preparada com técnicas de cultivo mínimo, ou seja, preparo somente na linha de plantio com subsolagem e adubação individual das mudas.

A colheita foi feita aos 30 meses, com um sistema mecanizado específico para produção de cavaco, caracterizando o experimento como sistema florestal de curta rotação destinado a produção de cavacos para geração de energia.

### 5.2.3 Diâmetro, altura, densidade básica e volume

Nesse experimento foi realizado o inventário florestal da área para avaliar qualquer possível influência dos resultados diâmetro, altura total e volume com casca na colheita. Também foi avaliada a umidade, granulometria e densidade de carga, além da determinação do poder calorifico superior.

Para a colheita do eucalipto aos 30 meses, foram realizadas medições de diâmetro a 1,30 m do solo (DAP), altura total (Ht) e estimativa de volume com casca. A altura total foi determinada com o auxílio de uma trena, a medição foi realizada somente nas árvores abatidas selecionadas por amostragem e o diâmetro foi medido com o auxílio de um paquímetro. Já medição volume com casca foi realizada por meio do método de cubagem rigorosa e a coleta de discos para determinação da densidade básica média das árvores.

Para a seleção das amostras foi utilizado o princípio de coleta de árvores-amostra que considera a escolha de quatro árvores-modelo por área, o que significou colher árvores com DAP próximo do médio ou quadrático da

população. Dessas quatro árvores foram retirados discos em porcentagem de altura total (0%, DAP, 25%, 50% e 75%) para a determinação do volume de madeira com casca e densidade básica média da árvore.

Para determinação do volume com casca, o método utilizado foi o da cubagem rigorosa que é baseada na medição sucessiva de diâmetros ao longo do fuste com secções de comprimento iguais ou não para obtenção do volume real da árvore. A cubagem tem como finalidade obter fator de forma e gerar equações de volume e funções de afilamento para quantificar sortimento, o método utilizado foi o de Smalian, onde o volume é calculado por meio do produto da média aritmética obtida dos extremos das áreas seccionais, multiplicado pelo comprimento da seção.

A densidade básica da madeira foi determinada de acordo com a norma NBR 11941 (ABNT, 2003). Sendo a densidade básica da árvore calculada pela média ponderada.

### 5.2.4 Poder calorífico

Partes das amostras coletadas na região do DAP das árvores cubadas, foram moídas em um moinho de faca tipo Willey para determinação do poder calorífico superior (PCS). Com a utilização de um calorímetro, por meio do método da bomba calorimétrica, seguindo a norma NBR 8633 (ABNT, 1984), que consiste em queimar o combustível, em um sistema aproximadamente adiabático, e medir a variação de temperatura proporcionada pela queima da madeira numa certa quantidade de água e com massa pré-estabelecida. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Física Aplicada, IBB/UNESP, Botucatu/SP.

### 5.2.5 Granulometria

Após a colheita e cavaqueamento da madeira de toda a área do ensaio piloto, as amostras de cavacos de todo povoamento foram secas em condições naturais até atingirem umidade de 13% (base úmida). O material picado foi submetido ao teste de separação granulométrica em um separador de partículas com seis peneiras de malhas: C 100-63 mm, C 63-45 mm, C 45-16 mm, C 16-3 mm, C < 3 mm. Sendo os resultados analisados para verificar a quantidade em porcentagem de cavacos em cada classe granulométrica de acordo com a regulagem do picador. E também foi feita uma comparação das médias e análise dos dados para verificar se houve diferenças nos valores encontrados entre as amostras em função da regulagem.

### 5.2.6 Umidade

Para determinar a umidade foi utilizado o equipamento medidor de umidade portátil M-75 (Figura 2), que é um medidor de umidade para materiais a granel como biomassa, cavacos de madeira, serragem, resíduos de colheita, bagaço de cana-de-açúcar, entre outros. É um equipamento portátil e com leitura instantânea, desenvolvido pela empresa Marrari Automação. A capacidade volumétrica de amostragem do equipamento é de 35 litros e apresenta 350 mm x 400 mm de dimensão.

Para sua utilização é necessário, primeiramente, processar uma amostra do material e, também, que a amostra preencha todo o volume do medidor. As medições são feitas a partir de perturbações no campo eletromagnético geradas na presença do material e correlaciona com o conteúdo de umidade presente na amostra.

De acordo com o fabricante, as leituras de umidade apresentam precisão de 2 % p.p. para materiais com granulometria e composição uniforme quando comparado ao método gravimétrico (estufa).

Fonte: Natalia Sousa Ceragioli

Figura 2. Medidor de umidade.

### 5.2.7 Densidade de carga

As árvores foram transformadas em cavacos por uma máquina picadora e foram produzidos cavacos com diferentes dimensões de 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm e 33 mm de comprimento, com uma carreta instrumentada (Figura 3) com células de carga capaz de medir a quantidade de material colhido para a determinação da densidade de carga.

Fonte: Natalia Sousa Ceragioli

Figura 3. Carreta instrumentada CTC, utilizada em ensaio de piloto.

O ensaio foi divido em seis tratamentos de acordo com as dimensões de cavacos determinadas de 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm e 33 mm e consistiram em pesagens com a utilização de uma carreta com volume conhecido (9 $m^3$) de seis dimensões de cavacos tendo três repetições para cada dimensão.

Para análise estatística foi feita uma comparação de médias, realizou-se análise de variância e, após a verificação das significâncias a 5% de probabilidade, calculou-se o teste de Tukey de médias utilizando o programa computacional software *SISVAR*.

## 5.3 Ensaio de campo

### 5.3.1 Localização da área

A área estudada se localiza no município de Taiobeiras, região norte de Minas Gerais, microrregião do Alto Rio Pardo, entre a latitude de 15º48'S e longitude de 42º13'W, com uma altitude média de 1.090 m.

### 5.3.2 Caracterização da área

Em janeiro de 2010, foram implantados em Taiobeiras, Minas Gerais, áreas com os clones I 144, I42, I 060, I 224, híbridos de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake *x Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no espaçamento de 4 m x 0,5 m com a finalidade de produção de bioenergia na forma cavacos.

A área possui um tipo climático Bsw (continental-seco), com temperaturas médias de 25,8°C e 820 mm de precipitação média (VIANA, et al., 2004). E o solo, de acordo com o levantamento realizado por Embrapa (1979) pertence à classe Latossolo Vermelho Amarelo com textura argilosa.

A área foi colhida aos 37 meses, com um sistema mecanizado especifico para produção de cavaco. A adubação de plantio foi 300 kg/ha de NPK (00-42-00 + 1% boro e 0,5% de Zn), após 90 dias foi feita a primeira adubação de cobertura com 100 g/planta de NPK (12-05-12) e adicionado micronutriente B (0,5%). A segunda adubação de cobertura (180 dias de plantio) foi de 100 g/planta de cloreto de potássio + 0.5% de B.

### 5.3.3 Diâmetro, altura, densidade básica e volume

Para esse experimento foi realizado o inventário florestal da área para avaliar qualquer possível influência dos resultados de DAP, Ht, densidade básica na produção de cavacos. Também foi avaliada a umidade, densidade de carga somente para os cavacos de 33 mm.

Para a colheita do eucalipto aos 37 meses, foram realizadas medições de DAP, Ht e estimativa de volume com casca. A medição volume com casca foi feita por meio do método de cubagem rigorosa e a coleta de discos para determinação da densidade básica média das árvores.

Para a seleção das amostras foi utilizado o princípio de coleta de árvores-amostra que considera a escolha de quatro árvores-modelo por área, o que significou colher árvores com DAP próximo do médio ou quadrático da população. Dessas quatro árvores foram retirados discos em porcentagem de altura total (0%, DAP, 25%, 50% e 75%) para a determinação do volume de madeira com casca e densidade básica média da árvore.

Para determinação do volume, o método utilizado foi o da cubagem rigorosa que é baseada na medição sucessiva de diâmetros ao longo do fuste com secções de comprimento iguais ou não para obtenção do volume real da árvore. A cubagem tem como finalidade obter fator de forma e gerar equações de volume e funções de afilamento para quantificar sortimento, o método utilizado foi o de Smalian, onde o volume é calculado por meio do produto da média aritmética obtida dos extremos das áreas seccionais, multiplicado pelo comprimento da seção.

A densidade básica da madeira foi determinada de acordo com a norma NBR 11941 (ABNT, 2003). Para tanto, foi calculado o volume imerso em água de cada corpo-de-prova e então levados para uma estufa de circulação

forçada de ar na temperatura de 105ºC ± 2ºC, até que atingissem massa constante, obtendo assim a sua massa seca.

### 5.3.4 Umidade

Nesse ensaio para determinar a umidade foi utilizado três metodologias (equipamentos) diferentes: o método gravimétrico (estufa), um medidor portátil em forma de caneca (mugmobil M-75) e um medidor portátil de haste (humimeter).

Para a primeira determinação da umidade as amostras de cavacos dos diferentes clones colhidos foram submetidas ao clássico método gravimétrico (base úmida), descrito em diversos manuais de secagem e normas como NBR 7190, onde as amostras úmidas são submetidas à secagem em estufa a 103ºC ± 2.

A segunda determinação foi medir a umidade utilizando o equipamento medidor de umidade portátil para materiais granulados, como cavacos de madeira e biomassa, M-75 da marca Marrari, que gera resultados instantâneos. As leituras de umidade apresentam precisão de 2 pontos percentuais (% pp.) na base úmida para materiais com granulometria e composição uniforme quando comparado ao método da estufa.

Para uma terceira determinação foi utilizado o equipamento medidor de umidade com sonda de inserção, humimeter BLL (Figura 4), da marca Messtechnik Schaller GmbH, permite a determinação rápida do teor de água de cavacos de madeira também nas camadas mais profundas. De acordo com o fabricante, para as medições de cavacos feitos com Humimeter BLL, a diferença

relativa entre o teor de umidade referido e o teor de umidade determinado pelo método da estufa é -1,8% pp, na base úmida.

Fonte: Felipe de Córdova Machado

Figura 4. Medidor de umidade humimeter BLL.

### 5.3.5 Densidade de carga

As árvores foram transformadas em cavacos por uma máquina picadora e foram colhidos os cavacos com tamanho de 33 mm de comprimento, com um caminhão tipo truck (Figura 5) e pesados em uma balança rodoviária mecânica comum fixada ao chão e com capacidade de medida de até 100 toneladas, com erro de 10 quilos.

Fonte: Felipe de Córdova Machado

Figura 5. Caminhão tipo truck utilizado em ensaio de campo.

O ensaio foi realizado com colheita em área total, e consistiu em pesagens de um caminhão tipo truck com uma carreta de volume conhecido (37 $m^3$), com carga de cavacos de dimensão 33 mm em uma balança rodoviária tendo 17 repetições para o clone I-224, 29 repetições para o clone I-144, 25 repetições para o clone I- 60 e 22 repetições para o clone I-042.

Os resultados foram analisados por comparação de médias por meio da análise de variância e, após a verificação das significâncias a 5% de probabilidade, calculou-se o teste de Tukey de médias utilizando o programa computacional *Sisvar*.

# 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 6.1 Ensaio piloto

A determinação do teor de umidade é importante devido a influência nos resultados de densidade de carga. A umidade determinada com o M-75, na área de estudo foi de 58% (base úmida).

De acordo com o inventário que foi realizado as 30 meses na área os valores médios de altura e diâmetros encontrados na área foi de 15,15 m e 10,55 cm, respectivamente. A Tabela 1 apresenta os valores médios das características avaliadas na madeira.

Tabela 1. Valores de volume com casca (VCC), poder calorífico superior (PCS) e densidade básica média (DBM), encontrados na área de estudo.

| Árvore | VCC ($m^3$) | PCS ($MJ.kg^{-1}$) | DBM ($kg.m^{-3}$) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,0675 | 19,3 | 442,73 |
| 2 | 0,0477 | 19,5 | 446,55 |
| 3 | 0,0727 | 20,4 | 457,34 |
| 4 | 0,0686 | 20,2 | 442,36 |
| Média | 0,0641 | 19,9 | 447,25 |

Segundo Bassa et. al (2007), os híbridos de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*, com ciclos de corte entre 6 e 7 anos de idade, através de avanços tecnológicos na área de silvicultura e da seleção de populações, famílias e indivíduos superiores, alcançou-se uma elevada produção de madeira, em torno de 40 a 50 m³/ha/ano, aliada à boa qualidade da madeira, densidade básica da madeira, em torno de 0,500 a 0,520g/cm³.

Provavelmente, obteve-se este resultado (0,447 g.cm-³) por se tratar de uma floresta nova, e se pode observar a influência idade na densidade básica, as florestas mais antigas apresentarem maiores valores de densidade. O aumento da densidade básica de madeira de eucalipto, com a idade da árvore, é evidenciado pela literatura. De fato, Alencar (2002), estudando híbridos de E. uroplhylla vs E. grandis, com idade de 1 a 7 anos constatou incremento da densidade básica a medida que a idade da floresta aumentava.

Os trabalhos indicam também que os incrementos em densidade variam entre espécies (RIBEIRO e FILHO, 1993).

### 6.1.1 Granulometria

Após a comparação das médias e análise dos dados houve diferença entre as amostras em função das regulagens do picador (Tabela 2). Desta forma para as regulagens 5, 10, 15, 20, 25 e 33 mm, o material processado foi compatível com a regulagem escolhida pelo operador do picador, fazendo com que a maioria do material particulado se encontrasse na classe granulométrica adequada. Os valores percentuais encontrados foram diferentes para o material processado na regulagem de 25 mm e 33 mm, onde a maioria dos cavacos não ficou retida na respectiva peneira.

Tabela 2. Valores percentuais médios da quantidade de cavacos em cada classe granulométrica e regulagem do picador.

| Classes Granulométricas (mm) | Regulagem da picadora (mm) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 33 |
| C <3 | 47,71 | 20,45 | 10,59 | 9,47 | 4,45 | 2,15 |
| C 3-16 | 45,08 | 61,08 | 74,48 | 81,37 | 69,45 | 65,34 |
| C 16-45 | 6,52 | 18,47 | 14,92 | 11,42 | 23,41 | 33,51 |

Conforme a Figura 6 observa-se os resultados das peneiras que mais retiveram material particulado para a regulagem de 5 mm foram as da C < 3 mm e C 3-16 mm (47,71% e 45,08 %). Para a regulagem de 10 mm e 15 mm, a maior quantidade de material ficou retida na peneira da C 3-16 mm, com 61,08 % e 74,48 %, respectivamente, do total dos cavacos. E, para a regulagem de 20, 25 e 33 mm que a maior quantidade de material se encontrou entre C 3-16 mm (81,37%, 69,45 % e 65,34 %) seguida por 11,42%, 23,41 % e 33,51 %, respectivamente, na peneira da C 16-45 mm.

A distribuição é considerada homogênea e eficiente de acordo com a regulagem da máquina, para as regulagens de 10 e 15 mm, observando que pelo menos 2/3 do material se encontrada na classe proposta. Para as outras regulagens (20, 25 e 33 mm) a distribuição não é considerada homogênea, tendo a maior parte do material retido em uma classe abaixo da proposta (C 3-16). Tendo com um possível problema o tamanho as árvores escolhidas.

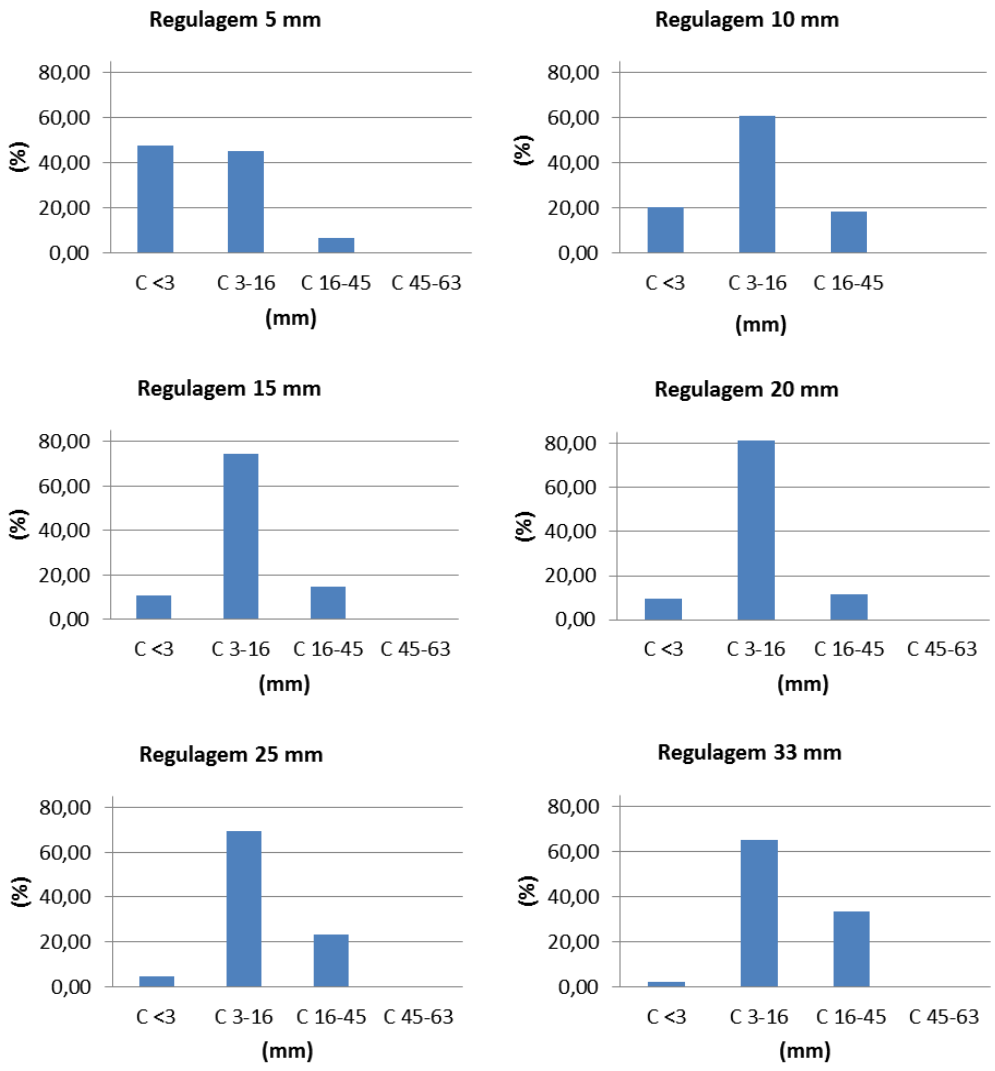


Figura 6. Distribuição das granulometrias para as diferentes regulagens.

### 6.1.2 Densidade de carga

Os resultados experimentais permitem concluir que houve efeito significativo (Tabelas 3 e 4) nas dimensões de cavacos sobre o peso e densidade de cavaco (Tabela 5). O peso e a densidade de carga de cavaco obtida para dimensão 5 mm foi estatisticamente superior e o peso e densidade de carga obtido na

dimensão de 33 mm foi estatisticamente inferior, ao peso e densidade de carga de cavaco obtido pelas demais dimensões, sendo que as dimensões 10, 15, 20, 25 mm foram estatisticamente iguais quanto a peso e densidade de carga pelo teste de Tukey ao nível nominal de 5% de significância.

Tabela 3. Análise de variância do peso.

| FV | GL | SQ | QM | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| Tratamento | 5 | 308.545,83 | 61709,17 | 9,01 | 0,0018 |
| erro | 10 | 68508,33 | 6850,83 | | |
| Total | 15 | 377.054,16 | | | |

Tabela 4. Análise de variância da densidade de carga.

| FV | GL | SQ | QM | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| Tratamento | 5 | 3.808,85 | 761,77 | 9,00 | 0,0018 |
| erro | 10 | 846,01 | 84,60 | | |
| Total | 15 | 4.654,86 | | | |

Tabela 5. Valores médios de peso e densidade de cavaco, em 6 diferentes dimensões.

| | Dimensão de cavaco (mm) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 33 |
| Peso (kg) | 3700,00 a | 3605,00 b | 3583,33 b | 3535,33 b | 3508,33 b | 3286,67 c |
| Densidade ($kg.m^{-3}$) | 411,11 a | 400,56 b | 398,15 b | 392,78 b | 389,81 b | 365,19 c |

* Médias seguidas de mesma letra na mesma linha não diferem estatisticamente a 5% pelo teste Tukey.

Se somente considerar a granulometria, sem influência de custos, transportes e desgastes (manutenção) da máquina, o melhor resultado de densidade de carga foi obtido a granulometria de 5 mm (411,11 $kg.m^{-3}$), se

analisarmos em porcentagem esse valor seria de 100%, assim a granulometria 10 mm representaria 97,43%, tendo uma redução de 2,57%, que segue para as demais dimensões 15 mm, 20 mm, 25 mm e 33 mm, que reduziram 3,15%, 4,46%, 5,18% e 11,17%, respectivamente quando comparados com o melhor resultado (5 mm). Observando que houve uma redução considerável de mais de 10% da menor dimensão (5mm) para a maior (33 mm) dimensão estudada.

A Figura 7, demonstra que de quanto maior a dimensão de cavacos menor peso e densidade de carga, e quanto menor a dimensão de cavacos maior a quantidade de material transportado na mesma carreta.

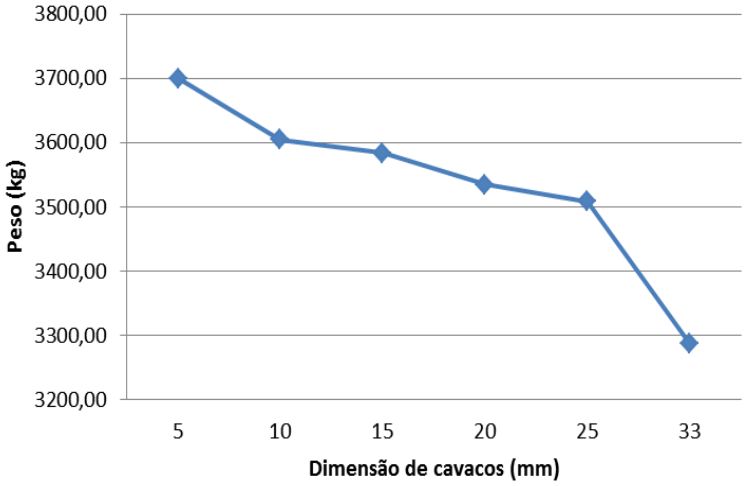


Figura 7. Gráfico com médias de peso de acordo com dimensão de cavacos.

### 6.2 Ensaio de campo

De acordo com o inventário que foi realizado na área os valores médios de altura, diâmetro e poder calorífico superior encontrados na área (Tabela 6). O valor de densidade básica média para o clone I-144 encontrado é de

0,43 g.cm-³, seguido pelos clones I-60 e I-224 (0,42 g.cm-³) e para o clone I-42, o valor de 0,41 g.cm-³.

Tabela 6. Valores médios de altura (Ht), diâmetro (DAP) e poder calorífico superior (PCS), encontrados na área.

| CLONES | Ht (m) | DAP (cm) | PCS (kcal/kg) |
|---|---|---|---|
| I- 60 | 10,91 | 5,43 | 4662 |
| I- 224 | 10,44 | 6,01 | 4680 |
| I-144 | 11,44 | 6,63 | 4678 |
| I-042 | 11,75 | 6,79 | 4782 |
| Média | 10,91 | 6,32 | 4679 |

A comparação da umidade (Tabela 5 e 6) encontrada pelos diferentes equipamentos de medição de umidade como método da estufa (base úmida) para os clones I-60, I-224, I-144 e I-042.

Os resultados da Tabela 5 permitem concluir que houve efeito significativo nas diferenças entre os valores encontrados na medição da umidade pela estufa e pelo mugmobil (M-75). Essa diferença não ultrapassa o estabelecido pelo fabricante do equipamento (< 2 % p.p.).

Tabela 7. Comparação entre as umidades encontradas estufa x mugmobil.

| CLONE | CAVACO | PESO | | UMIDADE | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | VERDE | SECO | ESTUFA | MUGMOBIL | Diferença |
| | (mm) | (kg) | | (%) | | p.p. (%) |
| I-60 | 33 | 247730,51 | 112717,38 | 54,50 | 56,30 | -1,80 |
| I-224 | 33 | 171785,38 | 79250,32 | 53,87 | 54,50 | -0,63 |
| I-144 | 33 | 266567,00 | 128041,02 | 51,97 | 53,50 | -1,53 |
| I-042 | 33 | 226366,00 | 104354,73 | 53,90 | 54,50 | -0,60 |
| Média | 33 | 237048,26 | 108536,05 | 53,89 | 54,50 | -1,08 |

Na Tabela 8, em relação ao equipamento humimeter os resultados indicam uma diferença fora do estabelecido pelo fabricante que é de -1,8 % p.p de diferença quando comparado com método convencional da estufa.

Tabela 8. Comparação entre as umidades encontradas estufa x humimeter.

| CLONE | CAVACO | PESO | | UMIDADE | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | VERDE | SECO | ESTUFA | HUMIMETER | Diferença |
| | (mm) | (kg) | | (%) | | p.p. (%) |
| I-60 | 33 | 247730,51 | 112717,38 | 54,50 | 55,00 | -0,50 |
| I-224 | 33 | 171785,38 | 79250,32 | 53,87 | 50,50 | 3,37 |
| I-144 | 33 | 266567,00 | 128041,02 | 51,97 | 51,00 | 0,97 |
| I-042 | 33 | 226366,00 | 104354,73 | 53,90 | 53,00 | 0,90 |
| Média | 33 | 237048,26 | 108536,05 | 53,89 | 52,00 | 0,93 |

As avaliações mostraram, que, para alguns princípios a precisão da medição pode ser significativamente aumentada quando a densidade a granel é considerada como um parâmetro adicional que influencia a função de calibração, o que tem de ser gerada por meio da análise de regressão múltipla. Nesses testes rápidos, densidade seca devem ser utilizados como valores de correção, que pode, por exemplo, ser lidos a partir de tabelas geradas separadamente (HARTMANN e BÖHM, 2000).

### 6.2.1 Densidade de carga

As comparações foram feitas para os resultados de densidade, devido à diferença de quantidade colhida para cada clone.

As análises mostram que, em média, o clone I-60 possui a menor densidade de carga, e o clone I-042 possui a maior densidade de carga (Tabela 9).

Tabela 9. Média de densidade, volume de cavaco, volume em pé e total de área colhida para diferentes clones, à granulometria a 33 mm.

| CLONE | DENSIDADE BÁSICA | VOLUME EM PÉ | DENSIDADE CARGA | ÁREA COLHIDA | RENDIMENTO (base úmida) | DENSIDADE POPULACIONAL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | (g.cm-³) | (m³. ha-¹) | (kg. m-³) | (ha) | (m³. ha-¹) | (árv. ha-¹) |
| I-60 | 0,42 | 75,23 | 287,52 | 2,07 | 415,57 | 4386 |
| I-224 | 0,42 | 74,60 | 297,33 | 2,07 | 279,29 | 4111 |
| I-144 | 0,43 | 88,57 | 301,24 | 2,00 | 443,39 | 3906 |
| I-042 | 0,41 | 89,85 | 322,00 | 2,02 | 348,36 | 3786 |
| Média | 0,42 | 81,9 | 299,285 | 2,07 | 381,965 | 4008,5 |

A Tabela 7, demostra a diferença de valores de densidade de carga encontrados nos diferentes clone estudados, observando que o clone I-042 obteve melhores resultados, seguido do I-144, I-224 e I-60 que obteve o menor valor.

Considerando que a unidade de manejo e idade de corte foi a mesma para todos os clones, as possíveis causas dessas variações podem ser a logística como a vibração sofrida até a pesagem, formato da carreta, e posição da bica de saída de cavacos. Esta diferença nos resultados ocorreu principalmente pelas diferenças de % de galhos e folhas nos materiais genéticos avaliados.

E de acordo com a legislação brasileira a Resolução 210/06 do Conselho Nacional de Transito (CONTRAN) restringe o comprimento, a largura e a altura de um veículo que trafega nas rodovias federais. Então neste sistema o volume útil pode ser 180 $m^3$ e a carga transportada pode ter peso bruto máximo

permitido por lei, de 57 toneladas. Portanto para os híbridos I 60, I 224, I 144 o caminhão é subutilizado sendo necessário um maior número de viagens. Já para hibrido I-042, seria necessário um controle maior pois o peso bruto ultrapassaria o limite estabelecido por lei.

Sugere, que para futuros estudos sejam realizadas análises econômicas afim de verificar o efeito da magnitude das variações da densidade de carga no custo do transporte de cavaco de madeira.

## 7 CONCLUSÕES

- Com o aumento da dimensão da granulométrica de cavacos de *Eucalyptus urograndis* menor a densidade de carga é encontrado para um mesmo volume.
- Diferentes clones do mesmo hibrido de eucalipto, plantados e colhidos numa mesma situação apresentam diferentes densidades de carga para cavacos de mesma dimensão.
- O equipamento portátil para medição da umidade (MUG-75) foi preciso quando comparado ao método da estufa.

## 8 REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: carvão vegetal - determinação do poder calorífico. Rio de JANEIRO, 1984. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira – determinação da densidade básica. Rio de JANEIRO, 2003. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14929**: madeira – determinação do teor de umidade de cavacos – método por secagem em estufa. Rio de JANEIRO, 2003. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2013:** ano base 2012. Brasília, DF, 2012. 148 p.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Área de Setores Produtivos 33. **Papel e Celulose**. Brasília, p. 261-314, 2011.

BARCELLOS, D. C.; COUTO, L. C.; MULLER, M. D.; COUTO, L. O estado - da - arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: Um enfoque nos tratamentos silviculturais. **RENABIO-Biomassa/Energia**, v.2, n.2, p.141-158, 2005.

BARRICHELO, L. E. G. et al. Estudos de procedências de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial. **IPEF**, Piracicaba, n.15, p.1-14, 1977.

BARROS, T. D., **Floresta**, Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec). Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000f8373tqy0z8kfsx007poikd70gdx8.html. Acesso: 03/jun/2013.

BRAND, M. A. **Qualidade da biomassa florestal para uso na geração de energia em função da estocagem**. 2007. 232 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná ,UFPR, Curitiba, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2013-** Ano base 2012: Relatório Síntese. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro: EPE, 2013. 55 p.

BRAUNBECK, O.; BAUEN, A.; ROSILLO-CALLE, F.; CORTEZ, L. Prospects for green cane harvesting and cane residue use in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 17, n. 6, p. 495-506, 1999.

BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES, P.S.G. Colheita de cana-de –açúcar com auxilio mecânico, **Engenharia Agrícola**, v. 26, no. 1, p. 300-308, 2006.

BRITO, E.O; BARRICHELO, L. E. G. Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia. **IPEF**, Piracicaba, 1979. Circular Técnica n. 52. Disponível em: http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr052.pdf. Acesso em: 15/jan/2013.

BRITO, E.O.; PEIXOTO, G.L. Avaliação da granulometria de partículas de *Pinus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. **Revista Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 60 -67, jan./dez. 2000.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21 n. 59, p. 185-193, 2007.s

CARMO, A.P.T. **Avaliação de algumas propriedades da madeira de seis espécies de eucalipto**. 1996. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

CENTRO DI ECCELLENZA PER LA BIOENERGIE (CEB). **Produzione del cippato**, Itália, 2009. Disponível em: http://www.biomasse.basilicata.it/ biomasse/ produzioneDelCippato.asp Acesso em: 07/jan/2013.

CHIANG, K. Y.; CHIEN, K. L.; CHENG, H. L. Characterization and comparison of biomass produced from various sources: suggestions for selection of pretreatment technologies in biomass-to-energy. **Applied Energy**, v. 100, p. 164-171, 2012.

CHRISTOPHERSON, N.S.; MATTSON, J. A. Mechanization of the operatiobal aspects of short rotation forestry. **Biomass**, Barking- England, v. 22, n. 1-4, p. 123-133, 1990.

CORTEZ, C. L.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G., COELHO, S. T.; MOREIRA, J. R.; AMENDOLA, F. C. B.; GAVIOLI, F. Análise do processo produtivo do eucalipto no sistema "short rotation" para o uso como combustível em uma usina termoelétrica. In, Congresso Internacional de Bionergia, 4, 2009, Curitiba, **Anais**...São Paulo: Centro Nacional de Referência em Biomassa, 7 p.

COSTA, V. E. **Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de Eucalyptus grandis x E.urophylla**. 2006. 99f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2006.

CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I. A.; CABRAL, M. T. F. D.; CUNHA NETO, Z.B.; BARBOSA, A.P.R. **Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras**. In: 3º encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira: Anais, v.2, p. 93-121, São Carlos, 1989.

DEMIRBAS, M. F.; BALAT, M.; BALAT, H. Potential contribution to the sustainable energy development. **Energy Conversion and Management**. Oxford, v. 50, p. 1746-1760, 2009.

DIAS, R.L.V.; SILVA JR., C.E. **Pulp and paper properties as influenced by wood density: species and age of Eucalyptus *sp***. Aracruz-ES: Centro de Pesquisa e Tecnologia, Aracruz Celulose S.S. p. 7-35, 1985.

DOAT, J. Le puovoir calorifique des bois tropicaux**. Revue bois et forêts des tropiques**. Nancy, France. n. 172, p. 33 – 48, 1977.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.

FAVREAU, J. In-woods chipping: a comparative cost analysis. **FERIC Technical Report**: TR-105, Quebec, 1992, p.16.

FIALA, M.; BACENETTI, J. Economic, energetic and environmental impact in short rotation coppice harvesting operations. **Biomass and Bioenergy**, v. 42 p.107-113, 2012.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* hill ex maiden nas idades de 11, 12,13,14 e 14 anos. **IPEF**, Piracicaba, n.4, p.65-89, 1972.

FOELKEL, C. E. B. **O processo de impregnação dos cavacos de madeira de eucalipto pelo licor Kraft de cozimento**. Grau Celsius, 2009. Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT15_ImpregnaçãoCavacos.pdf. Acesso em: 28 abr. 2013.

GARCIA, E. A. **Caracterização física e química do solo e avaliação do desenvolvimento de plantas de eucalipto em função do espaçamento e da adubação, visando à colheita precoce para utilização em bioenergia**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) -Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

GARCIA, E. A.; LANÇAS, K. P.; GUERRA, S. P. S.; MACHADO F.C.; MAZIERO, F. L. A energia da madeira em floresta de eucalipto. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 40, 2011, Cuiabá. **Anais...**Cuiabá: CONBEA, 4 p.

GARSTANG, J. et al. **Identification and characterization of factors affecting losses in the large-scale, nonventilated bulk storage of wood chips and development of best storage practices**, 2002. Disponível em: http://www.biomassenergycentre.org.uk/pls/portal/docs/PAGE/BEC_TECHNICAL/BEST%20PRACTICE/LOSSES%20IN%20CHIP%20STORAGE%20FILE14947.PDF. Acesso em: 02/fev/2013.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; LUCIA, R. M. D.; SANTÓRIO, R. C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, p. 501-509, 2009.

GRUNKRAUT, M**. Cavacos: Coopermiti**, 2012. Disponível em: http://www.coopermiti.com.br/educacao/cavaco.pdf. Acesso em: 15/dez/2012.

GUERRA, S. P. S.; LANÇAS, K.P.; GARCIA, E. A.; SPINELLI, R. Eucalipto adensado: manejo para florestas energéticas. In: LEMOS, E. G. M.; STRADIOTTO, N. R. (Org.). **Bioenergia: Desenvolvimento, Pesquisa e Inovação**. 1ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012, v. 1, p. 125-161.

HARTMANN, H.; BÖHM, T. Rapid moisture content determination of wood chips—results from comparative trials. In: **Proceedings of the first World conference on biomass for energy and industry**. 2000. p. 5-9.

HANKIN, C.; MITCHELL, C.P. **Forest Residue Harvesting Systems**. Wood Supply Research Group, University of Aberdeen. 1993.

HASELEIN, C. R. et al. Resistência mecânica e a umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 127-134, 2002.

JARA, E.R.P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: **Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT**, 1989. Comunicação Técnica, 1797.

LANÇAS, K.P.; GUERRA, S. P.S. Sistema florestal de curta rotação. **Revista opiniões sobre o setor de florestas plantada**, 2012. Disponível em: http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=791. Acesso: 20/maio/2013.

LI, Y.; LIU, H. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. **Biomass and Bioenergy**, v. 19, p. 177-186, 2000.

KOLLMANN, F.P.T.; KUENZI, E.W.; STAMM, A.J.; **Principles of wood science and tecnology II**: wood based materials. 2. ed. Berlin; Springer-Verlag, 1975. v. 2.

MACEDO, I.C. Estado da arte e tendências tecnológicas para energia. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – **CGEE**, 2003, 90p.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S., BIRRO, M. H. **Elementos básicos do transporte florestal rodoviário**. Viçosa: UFV, 2000. 167 p.

MICHELAZZO, M. B.; BRAUNBECK, O. A. Parameters technical and economical of the recovery of palhiço for six systems. In: **Encontro de energia no meio rural**, 6. Campinas, 2006.

MOERS, É. M.; VIEIRA, A. C.; FERNANDES, D. M.; SOUZA, S. N. M.; BARICCATTI, R. A. Caracterização da biomassa residual proveniente de resíduos agrícolas para geração de energia. In: Congresso Latino Americano de Suinocultura e Sustentabilidade Ambiental, 1, 2011, Foz do Iguaçú, **Anais...**Foz do Iguaçú: COLASSA, 11 p.

MÜLLER, M. D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba**. 2005, 108 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S.; TROSSERO, M. A. e FRISK, T. **Dendrologia: fundamentos e aplicações**. Brasília: ANEEL, 2000.

OLIVEIRA, J.T.S. et al. Variação do teor de umidade da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.1, p.115-127, 2005.

PARHAM, R. A. Wood defects. In: KOCUREK, M. J.; STEVENS, C. F. B. (Ed.). Pulp and paper manufacture. 3rd. ed. Montreal: Canadian Pulp and Paper Association, 1983. p. 66-79.

PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

QUEIROZ, S. C. S. et al. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa Kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 901-909, 2004.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, São Paulo, n. 89, p. 100-106, 2005.

RIBEIRO, F.A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/ procedências de *Eucalyptus spp*. **IPEF**, v.46, p.76-85, 1993.

SAMBRA, A.; SORENSEN, C. A. G.; KRISTENSEN, E. F. **Optimized harvest and logistics for biomass supply chain**. University of Aarhus, Faculty of Agricultural Sciences, Alemanha, 2008. Disponível em: https://pure.au.dk/portal/files/1350892/OC4.1.pdf. Acesso em: 01/ fev/2012.

SANTOS, M. D. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone hibrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. 2011. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciência Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

SCHEMBRI, M.G.; HOBSON, P.A.; PADDOCK, R. The development of a prototype factory-based trash separation plant. **Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol**., vol. 24, 2002.

SCHWEIER, J.; BECKER, G. Harvesting of Short Rotation Coppice – Harvesting Trials with a Cut and Storage System in Germany, **Silva Fennica,** v. 46, n.2 p. 287-299, 2012.

SEIXAS, F. **Novas Tecnologias no Transporte Rodoviário de Madeira. Departamento de Ciências Florestais**, 2008 ESALQ-USP. http://www.ipef.br/silvicultura/transporte.pdf . Acesso: 12/01/2013.

SHIMOYAMA, V.R.S.; BARRICHELO, L.E.G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus spp*. In: Congresso Anual de Celulose e Papel, 24, 1991, São Paulo. **Anais**... São Paulo, ABTCP, 1991. p.178-183.

SOARES, C. P. B.; de PAULA NETO, F.; de SOUZA, A. L**. Dendrometria e inventário florestal**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SPINELLI, R. **A Decision Support System for assisting harvesting system choice in Eucalyptus spp. fast growing short rotation plantations**. 2006. Tese de doutorado - University College Dublin, Dublin, 2006.

SPINELLI, R., HARTSOUGH, B., OWENDE, P., WARD, S. Productivity and Cost of Mechanized Whole-tree Harvesting of Fast-growing Eucalypt Stands. **Journal of Forest Engineering**, 2002.

STAPE, J.L. **Utilização de delineamento sistemático tipo "leque" no estudo de espaçamentos florestais**. 1995. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba,1995.

TEIXEIRA, M. G. **Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira**. 2005. 159 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

VALVERDE, S.R.; MAFRA, J.W.A.; MIRANDA, M. A., SOUZA, C.S.; VASCONCELOS, D. C. **Silvicultura brasileira- oportunidades e desafios da economia verde**, 2012. Disponível em: http://fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-549.pdf. Acesso em: 12/fev/2013.

VARANDA, L. D. et al. **Caracterização energética do carvão vegetal de duas espécies de bambu**, Itapeva, 2009. Disponível em: http://prope.unesp.br/xxi_cic/ 27_ 31014529883.pdf. Acesso em: 01/ fev/2013.

VETTORATO, J. A. **Mapeamento da fertilidade do solo utilizando sistemas de informação geográfica.** 2003. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) -Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

VIANA, H. S. **Diagnóstico do Município de Taiobeiras (MG).** In: Peixinho, Frederico Cláudio (coord.). Projeto Cadastro de Abastecimento por Águas Subterrâneas, Estados de Minas Gerais e Bahia. Brasília: CPRM, 2004.

VITAL, B.R. et al. Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado na região do cerrado de Minas Gerais. Brasília: **IBDF**, 1987. p.49-52. (Boletim Técnico, 8).