

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA E TRANSPORTES**

JOSÉ RODRIGO CLARO

**ALTERNATIVA PARA A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE COLHEITA DE
EUCALIPTO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM UMA EMPRESA MADEIREIRA**

Botucatu-SP
Novembro - 2010

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA E TRANSPORTES**

JOSÉ RODRIGO CLARO

**ALTERNATIVA PARA A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE COLHEITA DE
EUCALIPTO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM UMA EMPRESA MADEIREIRA**

Orientador: Prof. Dr. Osmar Delmanto Junior.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
FATEC - Faculdade de Tecnologia de
Botucatu, para obtenção do título de
Tecnólogo no Curso Superior de Logística e
Transportes

Botucatu-SP
Novembro – 2010

Aos meus pais Aparecido e Mercedes, por todo apoio, e amor incondicional que me deram, não só durante o curso, mas sim durante a minha vida toda.

A CAROLINE, que com seu carinho e alegria, pode me mostrar que é possível superar a dor e começar tudo novamente.

As minhas filhas Natália, Estela e Maria Heloíse, que tão pequenas e delicadas puderam me dar forças para conquistar essa vitória, pois se consegui concentrar-me nesse sonho foi porque tinha uma razão para torná-lo realidade e esses anjos ao meu lado para me fortalecer.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo agradeço a DEUS, luz que me guia em meus caminhos e me dá forças para superar as dificuldades na realização dos objetivos.

Ao prof. Osmar, pelo apoio preciso nas horas de dúvida, e competência ao orientar a realização deste trabalho.

A meus irmãos e irmãs pelo apoio e amor dedicado a mim nos momentos mais difíceis de minha vida, onde descobri que somos uma verdadeira família.

A minha tia e meu padrinho que acreditaram em mim e sempre me incentivaram em meus estudos.

Agradeço a empresa Duratex por permitir a elaboração desse trabalho e em especial ao Sr Bacarin e meu supervisor Mauro, que muito me ajudaram nesse estudo.

ENFIM, a todos aqueles que fazem parte da minha vida e me ajudam a superar os desafios.

RESUMO

O potencial de produção de energia a partir da biomassa florestal tem aumentado os esforços na busca de alternativas economicamente viáveis para a colheita de resíduos florestais. As diferentes fontes de biomassa incluem resíduos da colheita, resíduos primários da indústria de produtos florestais, material de desbastes, plantações energéticas de curta rotação e resíduos urbanos de madeira. Parte desse suprimento são resíduos oriundos das próprias industriais e outras partes proveniente de operações como desbaste para redução do perigo da ocorrência de incêndios, descarte de indústria do setor moveleiro, resíduos de madeira gerados pela construção civil e os resíduos da colheita de madeira. Todas essas fontes de matéria-prima têm seu próprio conjunto de custos operacionais e tecnologias de colheita. O presente trabalho abordou o problema de coleta de resíduos da exploração florestal, visando sua utilização como combustível para abastecimento de uma caldeira numa indústria madeireira da cidade de Botucatu-SP. Para tanto, o presente estudo foi desenvolvido por meio de uma simulação onde avaliou-se a viabilidade econômica da implantação de um sistema de produção que substituísse a atual utilização de madeira por resíduos florestais na alimentação da caldeira da empresa estudada. Como conclusão, verificou-se a inviabilidade da implantação desse sistema que representou um custo de mais de 59% por metro cúbico de resíduo, quando comparado ao sistema atual.

Palavras – Chaves: Biomassa. Geração de energia. Resíduos florestais.

LISTA DE FIGURAS

Figura	Páginas
1 Harvester com sistema de rodas (pneus).....	17
2 Harvester com sistema de esteiras.....	17
3 Feller-Buncher com sistema de pneus.....	18
4 Feller-Buncher com sistema de esteiras.....	18
5 Cabeçote processador.....	19
6 Skidder utilizado na operação de arraste.....	20
7 Forwarder utilizado na operação de baldeio.....	20
8 Valmet 801 BioEnergy.....	23
9 Colhedora Claas Jaguar.....	24
10 Enfardadora de resíduos florestais.....	25
11 Reboque para toras com 4 fueiros.....	26
12 Semi - reboques fechados para transporte de cavacos ou a granel.....	26
13 Unidade industrial de Botucatu.....	31
14 Fluxograma do sistema "A".....	33
15 Fluxograma do sistema "B".....	34
16 Resíduos resultantes da colheita do eucalipto.....	36
17 Construção da pilha para simular arraste.....	37
18 Processo de madeira na pilha.....	38
19 Distribuição dos tempos do processador na pilha.....	39
20 Transporte dos resíduos.....	39
21 Picagem dos resíduos.....	40
22 Comparativo dos custos dos dois sistemas.....	46
23 Picador instalado sobre Forwarder.....	47

LISTA DE TABELA

Tabela	Páginas
1 Tempos do processador na pilha.....	38
2 Peso dos resíduos.....	40
3 Volume de resíduos e madeira por hectares.....	41
4 Tabela de custo dos equipamentos do sistema "A".....	43
5 Custo de produção do sistema "A".....	44
6 Tabela de custo dos equipamentos do sistema "B".....	45
7 Custo de produção do sistema "B".....	46
8 Custo operacional do Picador/Forwarder.....	48
9 Custos finais.....	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	09
1.1 Objetivos	10
1.2 Justificativas	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 A Cultura	12
2.2 Cultivo do eucalipto	13
<i>2.2.1 Preparo do solo</i>	14
<i>2.2.2 Plantio e irrigação</i>	14
<i>2.2.3 Capina química</i>	14
<i>2.2.4 Calagem e adubação de cobertura</i>	15
2.3 Sistemas de colheita florestal	15
<i>2.3.1 Manual</i>	15
<i>2.3.2 Semi – mecanizada</i>	16
<i>2.3.3 Mecanizada</i>	16
2.4 Resíduos Florestais	21
<i>2.4.1 Resíduos Madeiráveis</i>	22
<i>2.4.2 Equipamentos para exploração de Resíduos Florestais</i>	22
<i>2.4.3 Transporte de resíduos florestais</i>	25
2.5 Geração de energia através de resíduos florestais	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 Materiais	29
3.2 Métodos	29
3.3 Estudo de Caso	30
<i>3.3.1 A empresa</i>	30
<i>3.3.2 Local objeto de estudo</i>	31
<i>3.3.3 Sistema atual de colheita</i>	32
<i>3.3.4 Sistema proposto - sistema “B”</i>	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Simulação de arraste	36
<i>4.1.1 Simulação do processo na pilha</i>	37
<i>4.1.2 Transporte e pesagem dos resíduos</i>	39

4.1.3 Picagem e pesagem dos resíduos	40
4.2 Análise dos custos	42
4.2.1 Sistema de colheita “A”	42
4.2.2 Sistema de colheita “B”	44
4.2.3 Comparativo dos custos dos sistemas “A” e “B”	46
4.3 Custos de trituração dos resíduos	47
4.4 Custos finais	49
4.4.1 Sistema ”A”	49
4.4.2 Sistema “B”	49
5 CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

O cultivo do eucalipto para a geração de madeira de reflorestamento na região de Botucatu se faz necessário para atender a demanda dessa matéria-prima nas indústrias madeireiras aqui instaladas. A região de Botucatu esta localizada no pólo cuesta e devido ao relevo acidentado não favorece a agricultura, além dessa dificuldade encontrada tem-se também outro agravante que devido à região montanhosa as áreas para cultivo apresentam na maioria das vezes solos rochosos e de baixa fertilidade.

Esses obstáculos naturais trazem grandes vantagens para o cultivo do eucalipto, uma vez que tem boa adaptação ao clima, alta resistência em casos de solos rochosos com baixo nível de nutrientes, assim o mesmo pode trazer grandes retornos econômicos, pois em uma área que a agricultura necessitaria de grandes quantidades de insumos e diversas operações para o preparo do solo, o eucalipto utiliza menos insumos e baixo custo em relação ao preparo tradicional do solo, quando utilizado o método de cultivo mínimo. Referidas situações fazem que a região seja uma das grandes produtoras de madeira e considerado o “pulmão verde” do estado de São Paulo.

Com a grande produção de madeira na região, tem-se também a geração de grande quantidade de resíduos resultantes das operações de colheita e processamento do eucalipto. Esses resíduos são descartados e ficam dispersos nos talhões onde dificultam as operações de silvicultura, pois podem causar danos aos equipamentos de manutenção mecanizada quando a floresta é conduzida a brotação ou no caso de reforma da floresta, danificando os equipamentos do preparo do solo e atrapalhando as atividades do plantio de novas mudas.

Em muitas empresas da região não há exploração dos resíduos florestais, e as empresas que recuperam esses resíduos fazem, na maioria das vezes, de forma terceirizada, onde os prestadores de serviço exploram os restos de madeira e ponteiros para serem utilizados como energia em fornos e caldeiras.

A utilização dos resíduos de colheita florestal como biomassa pode trazer retornos financeiros com a geração de energia para as empresas, diminuindo também as dificuldades nas atividades de silvicultura, no entanto, há poucos estudos em relação à utilização dos resíduos e as inúmeras formas de se recuperar esse material, fazendo com que as empresas fiquem em dúvida sem saber qual o melhor método de recuperação de resíduos para o seu sistema de colheita.

Nesse trabalho foram analisados os equipamentos, sistemas de colheita mecanizados e exploração de resíduos de eucalipto, com ênfase no aproveitamento da biomassa resultante das operações de colheita como fonte de energia, avaliando os aspectos técnicos e econômicos para utilização dessa biomassa na caldeira de uma empresa nacional, fabricante de painéis de madeira, localizada no município de Botucatu – SP.

1.1 Objetivos

O principal objetivo do presente estudo foi analisar os custos operacionais de dois sistemas de colheita florestal, avaliar a quantidade de resíduo gerado no segundo sistema de colheita, evidenciando a utilização dos resíduos como combustível na geração de energia em uma caldeira, bem como buscar soluções de logística para a coleta e trituração desses resíduos.

1.2 Justificativas

O elevado custo e a exaustão de fontes de energia não-renováveis têm despertado os interesses de técnicos e pesquisadores, no sentido da utilização mais intensiva da madeira como combustível. Entre as diversas alternativas, duas têm merecido maior destaque: implantação de florestas específicas para fins energéticos e utilização de resíduos da exploração florestal e do processamento mecânico da madeira. Fundamentalmente, ambas visam substituir o óleo combustível na geração de energia.

Assim este estudo buscou fomentar a utilização dos resíduos florestais como fonte de energia limpa reduzindo o uso de outras fontes que causam danos ao meio ambiente, garantindo o desenvolvimento sustentável da política ambiental da empresa, visando minimizar os custos de manutenção dos equipamentos de silvicultura, custo estes decorrente do excesso de resíduos nos talhões que ocasionam constantes quebra e parada dos equipamentos. Isto possibilita o preparo do solo com métodos menos agressivos e facilitando assim as operações de cultivo.

Segundo Arthur Junior e Pulito (2009), os resíduos vegetais deixados após a colheita, podem causar alguns transtornos operacionais, como: o rendimento e a qualidade operacional do preparo do solo podem ficar aquém do almejado e o combate as formigas é dificultado, pois os resíduos camuflam seus ninhos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Cultura

De acordo com Carvas (2010), há um século, o engenheiro agrônomo Edmundo Navarro de Andrade voltava da Austrália com um pequeno tesouro em suas malas. Não eram milhares de dólares: eram sementes de eucalipto. Sua missão ao cruzar os oceanos Atlântico e Índico era descobrir uma árvore que fornecesse carvão para as locomotivas e madeira para os dormentes das ferrovias. Contratado pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro, ele acabou trazendo ao Brasil uma espécie que hoje é o pilar quando se trata em madeira de reflorestamento.

Desde então se originou uma história de sucesso: nascia a silvicultura brasileira. Em 1903 iniciou-se o plantio das primeiras mudas da nova espécie na cidade de Rio Claro, SP. Naquela época, apenas as terras roxas, cobertas por florestas, eram desbravadas para uso agrícola. As áreas de vegetação menos abundantes, cerrados com solos arenosos e fracos na fertilidade natural, restavam marginais. Foi à sorte do eucalipto. Mesmo plantadas em solos considerados pobres, suas árvores manifestaram um vigor de crescimento surpreendente, superando seus ancestrais australianos (BRACELPA, 2009).

Após a introdução da planta para fins de reflorestamento e os bons resultados obtidos na época, vários hortos florestais foram implantados no estado. Além de servir para a ampliação das estradas férreas, que cresciam conforme a lavoura cafeeira de São Paulo progredia, o eucalipto foi utilizado a partir de 1905 também para reflorestar matas nativas,

onde frondosas florestas de eucalipto faziam sua fama ao substituir áreas desmatadas por culturas de cana-de-açúcar desde o século XVI (CARVAS, 2010).

No ano de 1966 o então governante Castelo Branco, iniciou programas de modernização industrial, agências de desenvolvimento regional e apoio a incentivos fiscais para estimular o crescimento das áreas de florestas plantadas. Ao término dos incentivos do governo no ano de 1987, a área que antes era de 470 mil ha de floresta, havia crescido 8 %, chegando a aproximadamente 6 milhões de floresta plantada (VIANA, 2005).

Hoje, o reflorestamento com eucalipto é uma das atividades econômicas mais importantes a longo prazo. Enquanto ele leva sete anos para sofrer o primeiro corte, o pinheiro, por exemplo, demora 25. Segundo Boris Tabacof, presidente do Comitê de Papel e Produtos de Madeira da Organização das Nações Unidas, o Brasil tem 4,5 milhões de hectares plantados – um terço destinado à indústria de papel e celulose. Com a crise de madeira e de energia, a árvore também se tornou alternativa para combustível e matéria-prima para a construção civil.

2.2 Cultivo do eucalipto

Segundo Camargo (2005), para se retirar madeira de floresta nativa é necessário desmatar grande parte dela para poder construir estradas de acesso e, assim, garantir a entrada de veículos para retirar as toras. Isso, além de destruir o habitat de muitos animais, colabora para a ocupação desordenada por parte do homem. Com alta produtividade, em comparação com florestas nativas, que em muitas espécies demoram 20, 30, 40 anos para crescer, a floresta renovável é um ótimo negócio: com bem menos tempo ela pode ser colhida. No caso do eucalipto, a floresta já está formada aos sete anos. O Brasil possui um solo e um clima muito favoráveis para o cultivo destas árvores, que crescem mais rápido que as árvores de outros países. Na Europa, por exemplo, as árvores utilizadas para a produção de papel e celulose possuem um ciclo até 10 vezes mais lento que o brasileiro.

Nos últimos anos uma grande evolução tem ocorrido nas atividades de silvicultura com relação ao plantio do eucalipto, que vai desde o melhor preparo da terra até o cultivo mínimo que está sendo muito difundido. Porém quando se generaliza o tipo de solo, é certo que teremos algum tipo de prejuízo financeiro, pois não se deve generalizar o grau de mecanização ou o uso de uma tecnologia, pois cada solo tem sua peculiaridade diferente

dependendo do tipo de clima e topografia. Em uma visão genérica as operações de silvicultura consistem basicamente em análise e adequação da área a ser cultivada, a boa qualidade das florestas começa nas operações de silvicultura, onde temos o preparo do solo, plantio, capina química, calagem e adubação de cobertura (ABDALLA, 2009).

2.2.1 Preparo do solo

De acordo com Abdala (2009), primeiramente é analisado o relevo da área, observando a topografia tentando obter um alinhamento com a menor declividade lateral possível, com um trator acoplado a um subsolador são feitos sulcos com aproximadamente 50 cm de profundidade e distâncias de 3 metros entre os sulcos. Esse método se denomina cultivo mínimo do solo onde há a mínima exposição dos nutrientes. Através dessa operação se consegue a desestruturação e descompactação do solo necessários para o plantio e enraizamento das novas mudas a serem plantadas.

2.2.2 Plantio e irrigação

O plantio consiste na inserção das mudas no solo pelo homem, com auxílio de uma plantadeira manual, sendo esta operação realizada com o auxílio de um trator acoplado com uma carreta para a distribuição das mudas dentro da quadra. De acordo com as condições climáticas, é realizada a irrigação das mudas plantadas com o auxílio de um trator acoplado com uma carreta pipa, nos períodos de seca são realizadas duas irrigações por dia (ABDALLA, 2009).

2.2.3 Capina química

Essa operação é realizada durante todo o ano de acordo com a necessidade, geralmente é feita antes da adubação e após a colheita. Essa operação é realizada com bomba (manual) ou com uso de barras acopladas nos tratores (mecanizado) utilizando dois tipos de herbicida pré-emergente ou pós-emergente registrados para o uso florestal. A aplicação desses defensivos

tem como objetivo o controle de plantas competidoras por nutrientes com a floresta plantada (IGNÁCIO, 2008).

2.2.4 Calagem e adubação de cobertura

Ambas as operações são realizadas de acordo com análises de solo a partir de amostras retiradas das fazendas. Tanto a distribuição de calcário quanto a de fertilizantes são realizadas com aplicadores semelhantes acoplados a tratores de pneus. A regulagem é realizada da mesma forma para o distribuidor de calcário ou fertilizante, variando apenas na quantidade a ser lançada. Esta operação consiste na aplicação dos insumos para suprir as necessidades de nutrientes das plantas (Barreto, 2010).

2.3 Sistemas de colheita florestal

Para Almeida Filho (2010), a colheita florestal tem um grande impacto no processo produtivo e carece de um estruturado planejamento de longo prazo, no qual se podem antecipar decisões que vão contribuir para produzir a madeira na quantidade, qualidade e custo esperados. O objetivo é colher madeira, processando árvores em toretes com comprimento e diâmetro predeterminados, livre de galhos e resíduos florestais, buscando segurança do pessoal envolvido, garantia operacional e custo justo.

Para a colheita de madeiras, geralmente, são utilizados, no Brasil, três tipos de sistemas, que são os de uso manual, semi-mecanizada e mecanizada.

2.3.1 Manual

Esse tipo de sistema é pouco aproveitado devido a fatores que inviabilizam sua utilização, entre esses fatores se destaca a falta de segurança dos operadores e a lentidão do processo. Nesse processo é usado apenas o machado com ferramenta de corte, o qual oferece grandes riscos de acidentes e pouca rentabilidade a qualquer tipo de empresa do setor produtivo (IGNÁCIO, 2008).

2.3.2 Semi-Mecanizada

Esse processo é um pouco mais utilizado que o processo manual, devido ser mais prático para o operador processar a madeira, utiliza-se de motosserras para fazer a derrubada e o processamento de árvores em toras. Também há o uso de machado para realizar o desganhamento das toras. Porém mesmo com esse avanço tecnológico do processo manual para o semi-mecanizado, não houve grandes vantagens em relação aos fatores de segurança, esforços dos operadores e ganhos em produtividade (CAMARGO, 2005).

2.3.3 Mecanizada

Esse é um sistema em que apenas máquinas fazem parte do processo, a única parte humana são os operadores dos equipamentos. Este modelo de colheita tem seus pontos positivos que além de ter o mínimo de contato manual, proporciona uma maior precisão no tamanho das toras, segurança no manuseio e uma maior rapidez no corte.

Basicamente existem três sistemas de colheita mecanizada mais conhecidas: árvores inteiras, toras longas e toras curtas. No método de árvores inteiras, as árvores são cortadas e arrastadas até a margem da estrada para desganhamento e/ou processamento e estocagem. Na colheita de toras longas, as árvores são cortadas, desganhadas e destopadas junto ao local de corte, e os troncos são transportados até o carreador ou pátio intermediário. Em ambos os métodos, a toragem se dá no local de estocagem ou pátio da indústria. O sistema de toras curtas pressupõe-se que todo o processamento seja feito no local de corte e a madeira seja transportada até a margem do carreador onde serão estocadas em forma de toras ou toletes (ALMEIDA FILHO, 2010).

As máquinas que fazem parte do processo mecanizado de corte são especialmente os Harvesters e os Feller-bunchers:

a) Harvesters:

São máquinas polivalentes auto-propelidas com rodas ou esteiras (Figuras 1 e 2), que são capazes de operarem como cortadoras e processadoras de árvores, estas realizam o abate, o desganhamento, a destopa e o traçamento (toragem) das árvores em toras no comprimento selecionado.



Figura 1 - Harvester com sistema de rodas (pneus).

Fonte: John Deere.(2010).



Figura 2 - Harvester com sistema de esteiras.

Fonte: Komatsu Forest. (2010).

b) Feller-bunchers:

São equipamentos sofisticados (tratores florestais cortadores – acumuladores) que acumulam árvores durante o processo de abate, formando pilhas, o que facilita o processo ou arraste da madeira derrubada, podem ser de pneus ou esteiras (Figuras 3 e 4).



Figura 3 - Feller-Buncher com sistema de pneus.

Fonte: John Deere. (2010).



Figura 4 - Feller-Buncher com sistema de esteiras.

Fonte: John Deere. (2010).

Após serem abatidas estas árvores podem ser processadas dentro do talhão ou junto à margem do carregador onde será estocada, esta operação pode ser realizada por máquinas equipadas com garras traçadoras ou cabeçotes processadores (Figura 5) que efetuam a desgalha, destopa e toragem da madeira.



Figura 5 - Cabeçote processador.

O baldeio e o arraste consiste na retirada das toras de madeira de dentro do talhão para sua margem, onde fica mais fácil a movimentação de caminhões e o embarque dessas toras nos caminhões. Esta operação pode ser feita de duas maneiras:

a) **Skidder** - tratores equipados com garras em sua parte traseira que pegam os feixes de madeira no interior do talhão e as arrastam para as margens, onde serão processadas e estocadas (Figura 6).



Figura 6 - Trator Skidder utilizado na operação de arraste.

Fonte: John Deere. (2010).

b) Forwarder - máquinas florestais auto-carregáveis que faz o baldeio das toras do interior do talhão ate as margens das estradas, tem capacidade de formar pilhas com até 4 metros de altura (Figura 7).



Figura 7 - Forwarder utilizado na operação de baldeio.

Fonte: John Deere. (2010).

Após as toras serem estocadas na margem das estradas, estas serão carregadas com carregadores florestais e transportadas por caminhões (bi-trem, tri-trem, rodo-trem romeu e julieta) até a fábrica onde serão transportadas em cavacos para produção chapas de MDP, fibra MDF ou outras. Esta operação de transporte na Duraflora é realizada por terceiros.

2.4 Resíduos Florestais

Segundo Arthur Junior e Pulito (2009), são considerados resíduos florestais todos os materiais orgânicos que sobram na floresta após as operações de colheita realizar a extração da madeira dos talhões, dentre eles os resíduos lenhosos (sobras de madeira), com ou sem casca, galhos grossos e finos, folhas tocos raízes, serapilheira e a casca.

A quantificação energética dos resíduos florestais envolve uma nova variável a ser medida, que é a massa dos componentes desse resíduo, pois o valor combustível é mais relacionado à sua massa que o seu volume, daí a importância de expressar os resultados do inventário florestal em termos de toneladas por hectares. Por outro lado, todos os estudos de impacto ambiental e, mais precisamente, a exportação de nutrientes, são relacionados à massa seca dos componentes principais do resíduo (COUTO, 1983).

Desde a introdução do conceito da utilização total da árvore por Young (1964) e a ênfase ao potencial da floresta para a produção de energia apresentada pelo mesmo autor em 1976, tem-se aumentado o interesse por pesquisadores em diversas partes do mundo, na estimativa da biomassa florestal.

São poucos os estudos sobre biomassa das espécies do gênero Eucaliptos e promover utilização dos resíduos tem como vantagens.

- Baixo custo de aquisição;
- Não emite dióxido de enxofre;
- As cinzas são menos agressivas ao meio ambiente que as provenientes de combustível fósseis;
- Menor corrosão dos equipamentos (caldeiras, fornos);
- Menores riscos ambientais;
- Recurso renovável;
- Não emissão de gases que contribuem para o efeito estufa.

Quanto as desvantagens:

- Menor poder calorífico;
- Maior possibilidade de geração de material particulado para a atmosfera. Isto significa maior custo de investimento para a caldeira e os equipamentos para remoção de material particulado;
- Dificuldades no estoque e armazenamento (AIE, 1998).

2.4.1 Resíduos Madeiráveis

Os resíduos madeiráveis podem ser divididos em três categorias. A primeira é composta por resíduos silviculturais, como madeira resultante da operação de colheita ou resíduos de biomassa, podendo ser composta por materiais produzidos durante o manejo e práticas de transformação das árvores em toras, como copas, galhos e ramos transformadas em partículas (cavacos).

A segunda categoria é composta por resíduos de conversões, que consistem de árvores inteiras transformadas em partículas; copas, galhos e ramos obtidos de conversões localizadas em rodovias, casas, comércios e indústrias e outras atividades desenvolvidas com utilização de madeira.

A última é composta por resíduos de madeira, definidos como resíduos industriais, que incluem casca, partículas, destopos, serragem e restos gerados como resíduos das indústrias primárias e secundárias de produtos de madeira e outras indústrias, comércios e atividades residenciais (DONOVAN 1990).

Hoop et al. (1997) concordam com o autor anterior na definição dos resíduos industriais de madeira e reforça que a disponibilização destes materiais no meio ambiente acarreta problemas de poluição do ar e água, sendo que uma solução comum seria o reaproveitamento desses resíduos como combustível na geração de energia.

2.4.2 Equipamentos para exploração de Resíduos Florestais

O custo de recuperação de resíduos florestais depende do tipo de sistema de colheita empregado. Operações de colheita de árvores inteiras trazem todo o volume para uma área de estoque à margem do carreador ou estrada, em uma operação de colheita convencional sem a

recuperação de resíduos, esses são empilhados na beira da estrada para queima ou posterior retorno para o interior do talhão e espalhados.

A maior parte dos sistemas de colheitas envolve a retirada dos resíduos em sistemas de árvores inteiras, mas novas máquinas como o Valmet 801 Bioenergy (Figura 8) oferece a possibilidade da colheita integrada de lenha e outros produtos em sistemas de toras curtas. O trator 801 combina um cabeçote processador com um picador móvel. Esse corta e processa as toras e depois transforma o material em cavacos diretamente em uma caixa de carga, com capacidade de 27 m³ de cavacos, situadas na parte de trás da máquina.



Figura 8 - Valmet 801 BioEnergy.

Fonte: Komatsu Forest. (2010).

Com o intuito de suplantar os obstáculos na forma de árvore com pequeno diâmetro, fabricantes e projetistas de equipamentos estão desenvolvendo novos tipos de colhedoras semelhantes á ceifadoras agrícolas. Essas máquinas cortam tudo em seu caminho em uma única passada, não importa se as árvores sejam pequenas e numerosas ou grandes e espaçadas - a operação de corte segue em frente ao longo do talhão. As formas mais avançadas desse projeto destinam-se á colheita de talhões uniformes de plantios arbóreos de curta rotação, sendo um dos exemplos á colhedora Claas Jaguar (Figura 9), que realiza as funções de corte e picagem (RUMMER; SEIXAS, 2007).

Estudos realizados em colheita simultânea de duas linhas de árvores, em talhões com média de 19,2 toneladas secas por há, registram produtividade média de 8,6 toneladas secas por hora (HARTSOUGH; YOMOGIDA, 1996).



Figura 9 - Colhedora Claas Jaguar.

Se os resíduos são recolhidos após a realização das operações de colheita, como uma operação em separado, todos os custos de coleta e remoção devem ser computados para a recuperação da biomassa.

Segundo Klepac et al. (2006) os custos de coleta de resíduos são bem maiores por toneladas do que o custo de extração de madeira com um forwarder, basicamente devido á baixa densidade dos resíduos da exploração. Pensando em reduzir esses custos a John Deere desenvolveu a enfardadora de resíduos John Deere 1490D (Figura 10), projetada especificamente para tratar do problema de coleta dos resíduos de exploração, o equipamento facilita a recuperação de uma maneira economicamente mais efetiva. As especificações técnicas para o 1490D indicam uma produtividade entre 10-30 fardos por hora, com base nos sistemas de colheita de toras curtas a enfardadora coleta, comprime e amarra os resíduos florestais em fardos cilíndricos com aproximadamente 60 cm de diâmetro e 3 m de comprimento. O manuseio dessa biomassa torna-se bastante simplificado ao compactar e agregar resíduos em forma semelhante e toletes.



Figura 10 - Enfardadora de resíduos florestais.

Fonte: John Deere. (2010).

2.4.3 Transporte de resíduos florestais

Os métodos utilizados para o transporte de resíduos florestais são divididos basicamente em dois tipos, com base na forma física dos resíduos – fardos, cavacos ou a granel.

Em forma de fardos – o transporte é realizado de maneira transversal ao eixo da carreta, modelo tradicional do transporte de madeira, possibilitando assim atingir a capacidade legal e total de carga dos reboques convencionais, principalmente no caso de se trabalhar com resíduos secos (Figura 11).



Figura 11 - Reboque para toras com 4 fueiros.

Em forma de cavacos ou a granel – o transporte dos resíduos do campo até a fábrica é feito através de semi-reboques fechados, com dispositivos de fácil descarregamento (Figura 12).



Figura 12 - Semi-reboques fechados para transporte de cavacos ou a granel.

Enfim, trata-se de um sistema de coleta de resíduos que apresenta potencial para o seu desenvolvimento e futura adequação a algumas situações de operação para o fornecimento de energia, ou mesmo a substituição de outras operações de manejo florestal.

2.5 Geração de energia através de resíduos florestais

A qualificação da biomassa tem recebido, nesses últimos anos, uma atenção especial na medida em que ela se relaciona diretamente com a fixação do dióxido de carbono atmosférico, agindo em consequência como redutor das emissões de dióxido de carbono, um dos grandes responsáveis pelo efeito estufa.

Todavia, a metodologia utilizada na qualificação da biomassa não tem sido unânime em contemplar os mesmos procedimentos, tendo em vista que algumas delas não levam em consideração nem a biomassa morta (serapilheira) e nem tão pouco aquela subterrânea (WATZLAWICK, 2003).

Em efeito, a sua combustão constitui tradicionalmente a fonte de energia mais importante desde o descobrimento do fogo, e teve uma participação significativa até a Revolução Industrial, quando outras fontes alternativas de energia foram disponibilizadas, de forma a acompanhar o surto do desenvolvimento e a respectiva demanda por produtos industrializados (INFANTE; VEIRAS, 2003). Muitos têm sido os argumentos favoráveis ao desenvolvimento de tecnologias para o melhor aproveitamento da biomassa florestal para fins energéticos, porém três deles em particular têm merecido uma atenção especial:

- *Ecológico* – a madeira, por ser um recurso renovável, possibilita a redução significativa das fontes de energia de origem fóssil e a utilização racional desses recursos, além de também limitar as emissões de gases causadores do efeito estufa. O impacto ecológico favorável se manifesta igualmente sobre o plano mais localizado, uma vez que a dos subprodutos da colheita florestal para a mesma finalidade permite a exploração e a valorização mais racionais e otimizadas dos recursos florestais;
- *Econômica* – considerado a possibilidade de aproveitamento de todos os subprodutos oriundos da cadeia produtiva da matéria prima florestal e comparativamente á produção energética equivalente, a biomassa florestal oferece empregos em uma escala quatro vezes maior que outras fontes energéticas;
- *Social* – uma vez que a madeira como suprimento energético contribui com um impacto positivo sobre o desenvolvimento rural, permitindo aos agricultores diversificar suas

atividades através do reflorestamento de áreas inadequadas para a agricultura tradicional. O Brasil, no contexto da geração de energia a partir de fontes renováveis, ocupa atualmente uma posição de destaque no cenário mundial, ao produzir 95% de sua energia elétrica e a partir da energia hidráulica e ter 30% do consumo local de energia de base a partir de elementos, bióticos, ou seja, a biomassa (PNUD, 2004).

Além do favorecimento ecológico, econômico e social, o aproveitamento da biomassa florestal pode trazer inúmeras vantagens e desvantagens. Desvantagens essas que podem ser minimizadas através de planejamentos e modificações com relação á correção dos nutrientes do solo, e termos de aspectos silviculturais.

As vantagens são:

- a) Diminui a lixiviação de nutrientes para os cursos d' água;
- b) A preparação do solo pode ser feita com métodos menos agressivos;
- c) Melhora o desenvolvimento natural de plantas em áreas de regeneração;
- d) O custo da regeneração florestal é mais baixo, ela é mais rápida e melhor;
- e) O plantio se torna mais fácil;
- f) Com a possibilidade do plantio ser antecipado, as áreas em regeneração não são cobertas por ervas daninhas e haverá uma menor necessidade do seu controle.

As desvantagens são:

- a) Matéria orgânica é removida do ciclo de nutrientes;
- b) Diminuiu a quantidade de húmus protegendo o solo;
- c) Alguns nutrientes são removidos do ecossistema;
- d) Aumenta o risco de acidificação;
- e) O perigo de redução no crescimento da floresta.

Outra característica importante da madeira para energia é o seu conteúdo de umidade, considerando-se um máximo permissível o seu uso como combustível na faixa de 65 a 68%. Acima dessa faixa, a energia requerida para evaporar a umidade é maior, mo entanto a energia contida na matéria seca da madeira e a combustão não se mantêm sem um suprimento externo de energia. A vaporização consome 0,7 kWh de energia calorífica por kg de água. Em qualquer sistema, o conteúdo excessivo de umidade no combustível pode causar corrosão e entupimento nos sistemas de alimentação e manuseio de combustível, com conseqüente redução na eficiência de combustão. A madeira contém ácidos, que com umidade suficiente podem ser bem corrosivos (BADGER, 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para a realização do presente estudo foi utilizado os seguintes materiais e equipamentos:

- 01 Feller John Deere 903 J
- 01 Processador John Deere 903 J
- 01 Carregador florestal Komatsu PC 200
- 01 Caminhão Basculante Mercedes 1423
- 01 Picador de resíduos (Hammel)
- 01 balança para caminhões
- 01 Notebook
- 01 máquina fotográfica 8.2 megapixels
- 01 Trena métrica
- 01 cronômetro

3.2 Métodos

Para o desenvolvimento do trabalho proposto, foi realizada uma simulação em campo do arraste de madeira com o auxílio de um equipamento denominado Feller-Buncher, onde o mesmo teve que abater as árvores e depositá-las de maneira que formasse uma pilha contínua,

para isso teve que deslocar com as árvores no cabeçote várias vezes, pois não pode derrubá-las no local do abate como em sua operação normal. Após a construção da pilha e secagem da madeira por alguns dias, durante o processo o operador do equipamento foi orientado que ao chegar à zona de galhos o restante da copa das árvores fosse descartado para resíduos, ao mesmo tempo foi tomado os tempos para avaliação da produtividade do processador desse modelo de processo.

Os resíduos resultantes do processo na pilha (composto de galhos, folhas e ponteiro) foram coletados, transportados, pesados e depois triturados por um triturador que se encontra no pátio de cavacos da empresa. Então esse resíduo foi colocado em uma caixa de um metro cúbico e pesado para obter dados como volume e peso dos resíduos gerados nessa operação. Neste levantamento buscou-se quantificar e analisar métodos para realização da coleta desses resíduos. Também realizo-se pesquisas de campo com intuito de obter informações das vantagens e desvantagens da exploração dos resíduos em termos de aspectos econômicos e silviculturais.

Como complemento deste estudo teve a realização de comparações do poder calorífico dos resíduos e da madeira através de análise de dados, e posterior avaliação dos custos, dos prejuízos ou benefícios da utilização dos resíduos florestais como fonte de energia.

3.3 Estudo de Caso

O presente estudo foi desenvolvido junto a uma empresa do setor florestal localizada na região centro-oeste do estado de São Paulo, na cidade de Botucatu, especificamente numa área plantada com eucalipto da espécie (*eucalyptus grandis*), com idade de 6 anos.

3.3.1 A empresa

A Duraflora é uma empresa privada de capital aberto, com responsabilidade de produzir madeira para as fábricas da Duratex S.A. para a produção de painéis de madeira reconstituído.

A empresa possui cerca de 110 mil hectares de florestas próprias de pinus e eucalipto cultivadas no estado de São Paulo divididas em 5 unidades: Botucatu, Agudos, Lençóis Paulista e Itapetininga. Essas unidades garantem a auto-suficiência no suprimento de madeira,

proporcionando assim a viabilidade e sustentabilidade de matéria - prima para as fabricas da Duratex.

A área industrial da unidade de Botucatu é de 15 hectares, sendo área construída 10 hectares, sendo 4 linhas de produção (Figura 13).



Figura 13 - Unidade industrial de Botucatu.

Fonte: Duratex. (2010).

3.3.2 Local objeto de estudo

A área objeto de estudo está localizada a uma distância aproximada de 35 quilômetros da fabrica de Botucatu, em uma das fazendas da empresa, denominada Fazenda Primavera.

A fazenda apresentava uma floresta no ponto de corte com idade adequada, o talhão escolhido, talhão número 11, com rendimento de 0,38 metros cúbicos por árvore. Apresenta um relevo favorável à utilização do equipamento escolhido para o corte e processo das árvores que foram utilizadas para o presente estudo.

3.3.3 Sistema atual de colheita

O sistema atual (Sistema A) de colheita da Duraflora está hoje dividido em três operações, derrubada, processo dentro do talhão e baldeio. Todas as operações de colheita são mecanizadas, “Nenhum homem no Chão na operação de colheita” palavras do Diretor Florestal da Duraflora António Joaquin de Oliveira, pois desta forma garante a segurança dos funcionários aliado a competitividade.

Para a operação de derrubada a unidade de Botucatu conta com dois Feller - Buncher John Deere modelo 903J de grande porte com produtividade aproximada de 100 a 110 m³/hora, uma máquina Caterpillar modelo 320 CL Flex, equipamento este que pode mudar tanto de Feller para processador como vice-versa, de acordo com a demanda de derrubada ou processo de madeira, e um Feller-Buncher Caterpillar modelo 320 CL, ambos com produtividade entre 50 a 55 m³/hora.

Na operação de derrubada os Feller – Bunchers sempre buscam iniciar o talhão do seu ponto mais alto, para que o processador não tenha que puxar as árvores morro acima no momento do processo. Os feixes de madeira com média de 10 árvores cada um, são derrubados a 90 graus do alinhamento do plantio.

A operação de processo é realizada por dois John Deere modelo 903J, cada um acoplado a um cabeçote processador de grande porte, com produção de 110 a 130 m³/hora. E a máquina Flex citada acima com produção de 60 a 70 m³/hora quando acoplada a seu cabeçote processador.

O processo é realizado no interior do talhão, onde a máquina se desloca de feixe em feixe para poder apanhar e cortar as árvores em toras. Nesta operação os feixes derrubados pelo Feller são segmentados em toras de 6 metros e por se tratar de feixes não se consegue ter um desgalhamento satisfatório das copas, deixando de aproveitar boa parte da ponteira das árvores.

Já na operação de baldeio, que consiste na retirada da madeira do interior para a bordadura das quadras, a unidade possui três Forwarder John Deere modelo 1710 D e um Valmet 890.2, todos com produtividade de 65 a 70 m³/hora. Conforme (Figura 14), pode-se visualizar o fluxograma do sistema atual.

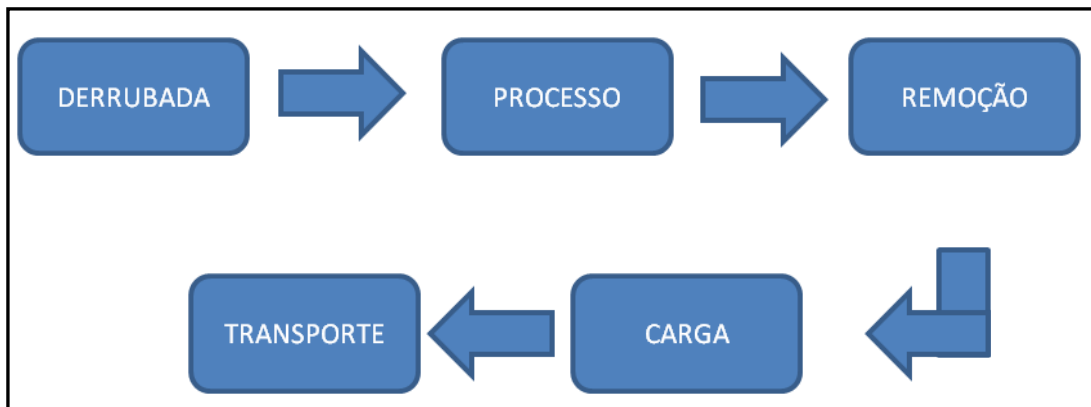


Figura 14 - Fluxograma do sistema "A"

3.3.4 Sistema proposto – Sistema “B”

No referido estudo foi proposto um sistema de colheita (sistema “B”) que consiste na produção da madeira do mesmo modo que o sistema “A”, mudando apenas a operação de remoção da madeira que ao invés de baldeio das toras com o forwarder, utiliza-se o Skidder para arrastar as árvores inteiras até as margens dos talhões onde será seccionada em toras pelo processador na bordadura dos talhões, com esse modelo de colheita todo resíduo gerado fica acumulado à margem das estradas facilitando a sua exploração sem a necessidade de coletá-lo dentro do talhão, onde esses resíduos acumulados nas margens dos talhões após o processo das árvores são triturados por um picador de resíduos. Conforme fluxograma da Figura 15.

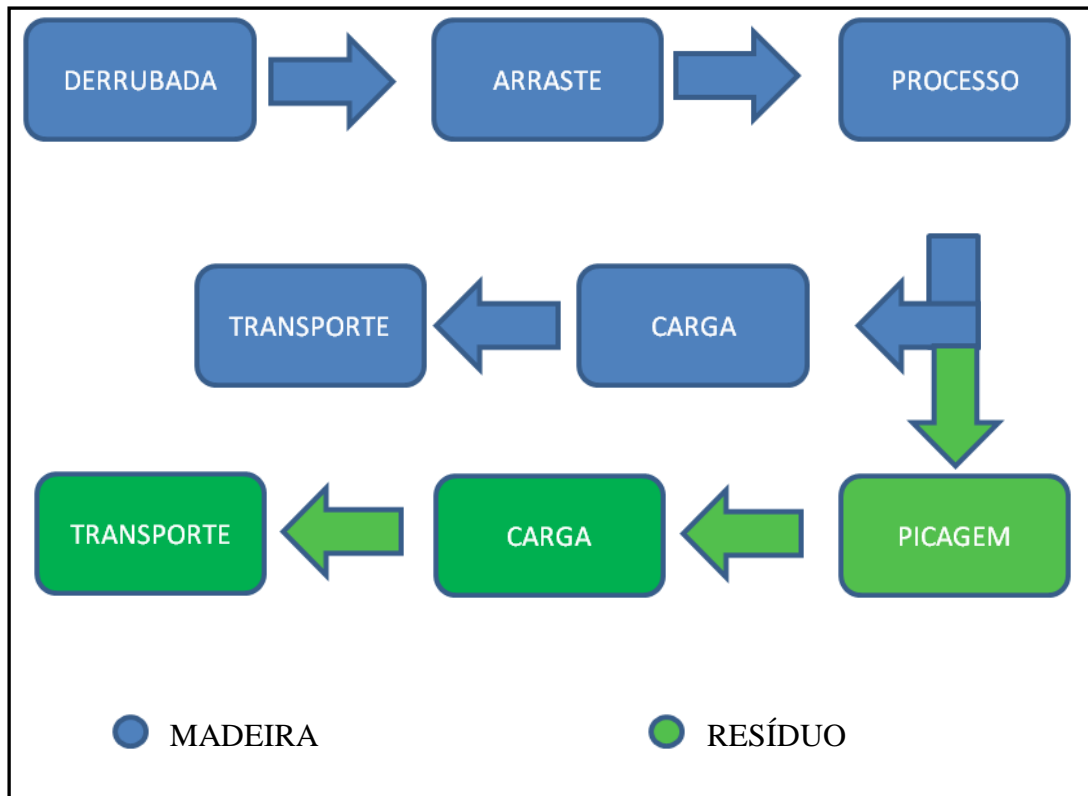


Figura 15 - Fluxograma do sistema "B"

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante das circunstâncias estabeleceu-se uma metodologia e o estudo de caso foi desenvolvido na empresa Duraflora S/A com objetivo de avaliar as variáveis operacionais, a viabilidade técnica e econômica do aproveitamento de partes dos resíduos “deixados” a campo para geração de energia nas caldeiras das fábricas, reduzindo a utilização de matéria-prima e conseqüentemente a necessidade de áreas plantadas para suprimento da demanda de madeira na indústria. Esse material composto de galhos e ponteiros das árvores causa dificuldades para o preparo ou manutenção dos talhões (Figura 16). A exploração desses resíduos não implica na retirada de toda a cobertura do solo, ficando ainda uma cobertura de folhas e galhos de tamanho menor que será a proteção do solo e de seu micro organismos contra a sua degradação ou ocorrência de erosões.



Figura 156 - Resíduos resultantes da colheita do eucalipto

4.1 Simulação de arraste

Para o desenvolvimento do trabalho foi necessário construir uma pilha de árvores inteiras que simulasse o arraste de madeira do trator Skidder. Com o auxílio de um Feller-Buncher modelo 903J, foi cortada 1.561 árvores totalizando uma área de 1,09 hectares, as árvores foram cortadas e transportadas no cabeçote com uma média de 9 árvores cada ciclo e depositadas da pilha com aproximadamente 50 metros de comprimento e alturas entre 1,20 a 1,50 metros de altura (Figura 17).



Figura 167 - Construção da pilha para simular arraste.

4.1.1 Simulação do processo na pilha

Na simulação do processo foi realizado um pré - teste, para adaptação do operador e verificação do melhor posicionamento do equipamento durante o processamento da pilha. Durante esse simulado foram processadas as 1561 árvores da pilha, com um volume de 0.38 m³/ árvore, em um intervalo de tempo de 13100 segundos, alcançando assim uma produção de 140 m³/hora.

No simulado foi tomado os tempos de cada feixe individualmente e avaliado dados como:

- Tempo de deslocamento – tempo que o equipamento utilizou após soltar o resíduo até chegar ao outro feixe.
- Tempo para pegar – tempo esse que levou para apanhar o feixe e iniciar o primeiro corte da madeira.
- Tempo de processamento – tempo utilizado para processar todo feixe até chegar à área de descarte.
- Número de árvores – quantidade de arvores apanhadas e processadas em cada feixe.

Pode-se visualizar o tempo total de cada etapa do processo e o tempo total do simulado na Tabela 1.

Tabela 1 - Tempos do processador na pilha

Etapas	Tempo (segundos)
Deslocamento	1302
Apanhar feixe	6697
Processo	5101
Total	13100

No simulado o processador obteve uma produção maior na pilha do que dentro do talhão, essa diferença corresponde ao fato que na pilha o processador não precisa deslocar de um feixe para o outro, deslocando apenas poucos metros para separar a madeira processada das árvores inteiras (Figura 18).



Figura 178 - Processo de madeira na pilha

Na (Figura 19), pode-se observar também que a maior parte do tempo (51%) foi utilizado para apanhar os feixes, devido o equipamento não ser desenvolvido para esse tipo de operação, podendo ser diminuído esse tempo com melhorias nas garras do cabeçote para trabalhar em pilhas.

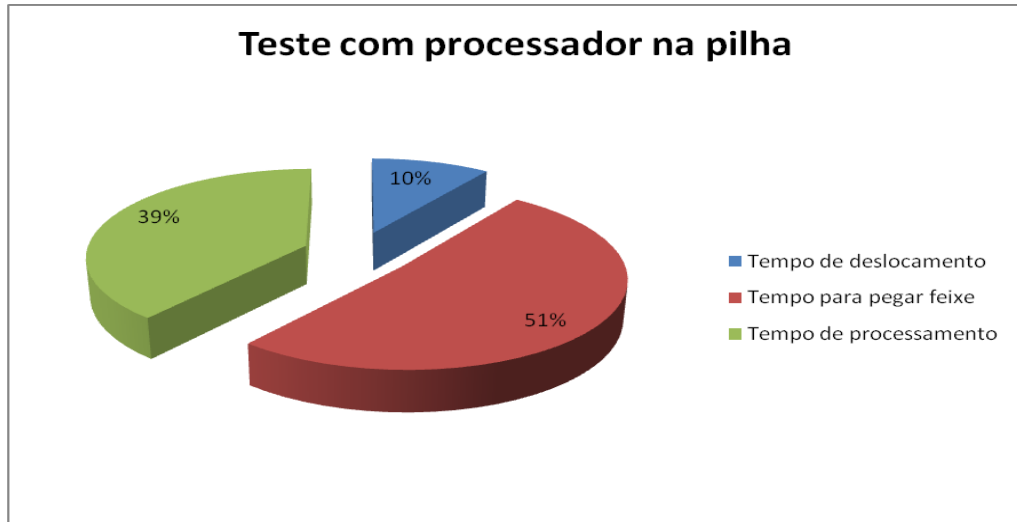


Figura 189 - Distribuição dos tempos do processador na pilha.

4.1.2 Transporte e pesagem dos resíduos

Os resíduos gerados durante o processo na pilha foram coletados, carregado e transportado para a fábrica, onde foi realizada a pesagem de todas as viagens. Para carregamento e transporte desse resíduo foi utilizado um caminhão basculante Mercedes Bens modelo 2423 K, de uso da casa de cavacos da fábrica e um Carregador florestal Komatsu modelo PC 200 de um prestador de serviços da Duraflora, conforme (Figura 20).



Figura 20 - Transporte dos resíduos

No transporte o caminhão foi pesado ao sair da fábrica vazio e quando retornava carregado, foram realizadas oito viagens para transportar todo o material do campo até a fábrica, somando um total de 21,5 toneladas de resíduo, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Peso dos resíduos

Nº de viagens	Peso (kg)
1º	2.470
2º	2.760
3º	2.730
4º	2.860
5º	2.580
6º	2.620
7º	2.740
8º	2.810
Total	21.570

4.1.3 Picagem e pesagem dos resíduos

O resíduo transportado e depositado no pátio de cavaco da empresa foi picado com auxílio de um triturador de resíduos industriais da marca Hammel (Figura 21).



Figura 21 - Picagem dos resíduos.

Com uso de chapas de fibra foi construído uma caixa de um metro cúbico para avaliar a relação entre peso e volume do resíduo, está foi pesada vazia e em seguida preenchida com material picado, e novamente pesada. A relação encontrada mostrou que um metro cúbico de resíduo equivale a 260 quilos, considerando um teor de umidade igual a 25%. Considerando-se o total de resíduo transportado, em números redondos, (21.5 toneladas), tem-se:

$$1\text{m}^3 = 260\text{ kg}$$

$$21,5\text{ ton} / 0.260\text{ ton} = 82,69\text{ m}^3$$

A madeira (toras) resultante do teste utilizando-se processador foi transportada e pesada totalizando 460 toneladas, com uma densidade de 0,775 ton/m³, onde obtém-se 593,5 m³ de madeira, utilizando os dados da área do simulado (1,09 ha) obteve-se o volume de resíduo e madeira por hectare, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Volume de resíduo e madeira por hectares

Volume de resíduo por hectares (R)	Volume de madeira por hectares (M)
1,09 ha = 82,69 m ³	1,09 ha = 593,50 m ³
1,00 ha = R	1,00 ha = M
R = 76 m ³ /ha ou 20 ton/ha	M = 544 m ³ /ha ou 460 ton/ha

A unidade florestal de Botucatu entrega para a fábrica mensalmente cerca de 90.000 m³ de madeira, onde aproximadamente 15.300 m³ equivalente a 17% é destinada para geração de energia e os outros 74.700 m³ equivalente a 83% vai para a alimentação da linha de produção. Como o volume de toras processado no teste foi de 593,50 m³, e essas árvores geraram cerca de 21,5 ton de resíduos, a relação encontrada é de 0,036225 ton de resíduo para cada um metro cúbico de toras, ou seja, para cada 90.000 m³ de toras entregues as fábricas, também podem ser fornecidas 3.260 toneladas ou 12.500 m³ aparente de cavaco de resíduo por mês.

Substituindo-se o cavaco de madeira pelo de resíduo para a geração de energia, obtém-se um ganho considerável, pois diminui a quantidade de área cortada por mês, resultando em uma enorme vantagem ambiental, pois reduzindo se a área de floresta cortada reduziria também a quantidade de hectares plantados e conseqüentemente haveria uma menor exploração do meio ambiente.

4.2 Análise dos custos

4.2.1 Sistema de colheita “A”

Neste sistema A (sistema atual) são utilizados os equipamentos Feller, processador e Forwarder para colheita do eucalipto, os resíduos não são utilizados e ficam dentro dos talhões após serem separados da madeira durante o processo, na Tabela 4 está descritos os custos operacionais por hora de cada equipamento desse sistema como base em informações da empresa que geraram as seguintes planilhas.

Tabela 4 - Tabela de custo dos equipamentos do sistema "A"

ITENS	Feller	Processador	Forwarder
Valor do equipamento novo	700.268,00	700.268,00	847.425,00
Valor residual do equipamento (%)	10	10	10
Valor residual do equipamento (R\$)	70.026,80	70.026,80	84.742,50
Vida útil do equipamento (anos)	5	5	5
Vida útil do equipamento (horas)	25.000	25.000	25.000
Valor do implemento novo	127.588,00	187.248,00	---
Vida útil do implemento (horas)	12.500	10.000	---
Vida útil do implemento (anos)	2.5	2.5	---
Consumo de combustível (litros/horas)	40	26	14
Valor do combustível (R\$/litro)	1,62	1,62	1,62
Índice de manutenção	1,0	1,1	0,9
Índice de lubrificantes (%)	6	22	10
Número de pneus (equi.)	---	---	6
Valor pneu novo (unid.)	---	---	9000
Vida útil do pneu novo	---	---	10000
Salário do operador (R\$)	1600	1600	1600
Encargos sociais (%)	33,5	33,5	33,5
Benefícios (R\$/func.)	750	750	750
Número de operadores	3	3	3
Horas por dia	21	21	21
Dias úteis	25	25	25
Disponibilidade mecânica (%)	85	80	85
Eficiência operacional (%)	75	70	75
CUSTOS FIXOS (R\$/hora)			
Depreciação	35,42	40,19	30,51
Salário do operador	12,19	13,06	12,19
Encargos sociais (R\$)	4,08	4,38	4,08
Benefícios	5,71	6,12	5,71
TOTAL DOS CUSTOS FIXOS	57,41	63,75	52,50
CUSTO VARIÁVEL (R\$/hora)			
Combustível	64,80	42,12	22,68
Lubrificante	3,89	9,27	2,27
Manutenção	35,42	44,21	27,46
Pneus	---	---	5,40
TOTAL DOS CUSTOS VARIÁVEIS	104,10	95,59	57,80
TOTAL DO CUSTO POR HORA (R\$)	161,51	159,34	110,30

Para estimativa dos custos de produção do metro cúbico de madeira pronto para o transporte no sistema “A”, foram considerados os dados de uma média da produção de cada equipamento da empresa. Na Tabela 5 podemos visualizar dados como produtividade/hora, custo por máquina e custo total das operações do sistema “A”.

Tabela 5 – Custo de produção do sistema "A"

	Custo (máquina/hora)	Produtividade (m ³ /hora)	Custo (m ³)
Feller	161,51	100	1,62
Processador	159,34	120	1,33
Forwarder	110,30	70	1,58
Total (m ³)			4,52

4.2.2 Sistema de colheita “B”

O sistema “B” consiste na produção da madeira do mesmo modo que o sistema “A”, mudando apenas a operação de remoção da madeira que ao invés de baldeio das toras já processadas com o forwarder, utiliza-se o Skidder para arrastar as árvores inteiras até as margens dos talhões onde serão seccionadas em toras pelo processador. Os ponteiros que também ficaram acumulados nas margens dos talhões após o processo das árvores serão triturados por um picador de resíduos. Na Tabela 6 estão os custos operacionais por hora de cada equipamento do sistema “B”, baseados em dados da empresa.

Tabela 6 - Tabela de custo dos equipamentos do sistema "B"

ITENS	Feller	Skidder	Processador
Valor do equipamento novo	700.268,00	965.080,00	700.268,00
Valor residual do equipamento (%)	10	10	10
Valor residual do equipamento (R\$)	70.026,80	96.508,00	70.026,80
Vida útil do equipamento (anos)	5	5	5
Vida útil do equipamento (horas)	25.000	25.000	25.000
Valor do implemento novo	127.588,00	---	187.248,00
Vida útil do implemento (horas)	12.500	---	10.000
Vida útil do implemento (anos)	2.5	---	2.5
Consumo de combustível (litros/horas)	40	26	26
Valor do combustível (R\$/litro)	1,62	1,62	1,62
Índice de manutenção	1,0	0,8	1,1
Índice de lubrificantes (%)	6	10	22
Número de pneus (equi.)	---	6	---
Valor pneu novo (unid.)	---	16000	---
Vida útil do pneu novo	---	5000	---
Salário do operador (R\$)	1600	1600	1600
Encargos sociais (%)	33,5	33,5	33,5
Benefícios (R\$/func.)	750	750	750
Número de operadores	3	3	3
Horas por dia	21	21	21
Dias úteis	25	25	25
Disponibilidade mecânica (%)	85	85	80
Eficiência operacional (%)	75	80	70
CUSTOS FIXOS (R\$/hora)			
Depreciação	35,42	34,74	40,19
Salário do operador	12,19	11,43	13,06
Encargos sociais (R\$)	4,08	3,83	4,38
Benefícios	5,71	5,36	6,12
TOTAL DOS CUSTOS FIXOS	57,41	55,36	63,75
CUSTO VARIÁVEL (R\$/hora)			
Combustível	64,80	42,12	42,12
Lubrificante	3,89	4,21	9,27
Manutenção	35,42	27,79	44,21
Pneus	---	19,20	---
TOTAL DOS CUSTOS VARIÁVEIS	104,10	93,33	95,59
TOTAL DO CUSTO POR HORA (R\$)	161,51	148,68	159,34

Para realizar o cálculo do custo por metro cúbico do sistema "B" foi utilizado da mesma forma que o sistema anterior, como base nos dados de produtividade média dos equipamentos da empresa, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Custo de produção do sistema "B"

	Custo (máquina/hora)	Produtividade (m ³ /hora)	Custo (m ³)
Feller	161,51	100	1,62
Skidder	148,68	120	1,24
Processador	159,34	140	1,14
Total (m ³)			3,99

4.2.3 Comparativo dos custos dos sistemas "A" e "B"

Podemos observar na (Figura 22) os custos de produção por metro cúbico de cada operação e o custo total dos dois sistemas, havendo uma diferença no custo de R\$ 0,53 por m³; sendo que os custos com a derrubada são iguais e os custos de processo variaram, ficando mais alto no segundo sistema, pois a produtividade do processador na pilha é menor que na quadra devido aos fatores relacionados na simulação do processo. Na remoção da madeira, o Skidder com uma operação bem mais simples e rápida consegue atingir uma produção alta, deixando seus custos menores que do Forwarder. Levando-se em consideração que no segundo sistema pode ser realizado o aproveitamento dos resíduos sem custo de coleta, pois este já estará disposto às margens das estradas, também irá ocorrer à utilização de 100% das árvores.

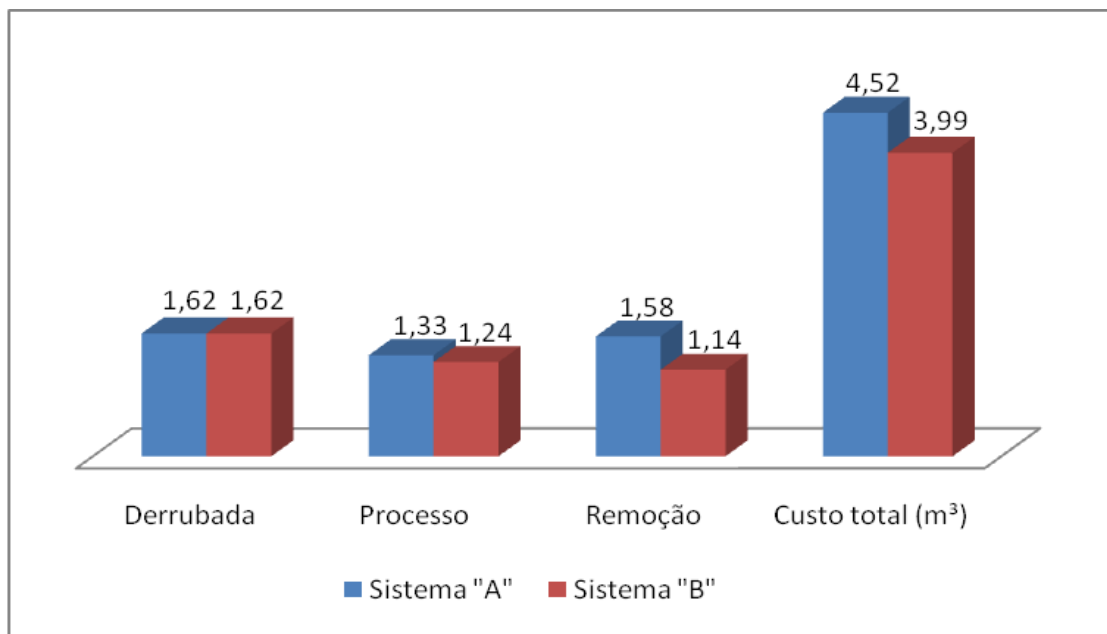


Figura 192 - Comparativo dos custos dos dois sistemas.

4.3 Custos de trituração dos resíduos

O equipamento proposto para triturar os resíduos resultantes da colheita, foi um picador novo modelo PFP composto por um picador e uma caçamba de basculamento lateral (transbordo) fabricado pela empresa Planalto em Campos Novos-SC, com capacidade de produção estimada de 15 m³/hora. O equipamento é instalado sobre o chassi de um Forwarder já depreciado. O objetivo de instalar o equipamento sobre o Forwarder foi o da utilização do seu sistema hidráulico para acionamento dos componentes e a grua para alimentação do picador (Figura 23).



Figura 203 - Picador instalado sobre Forwarder

A proposta foi acompanhar a mesma jornada de trabalho das máquinas de colheita, onde o equipamento trabalha na bordadura dos talhões apanhando os resíduos acumulados com auxílio da grua, triturando e lançando dentro da caçamba, após completar a carga da caçamba, o Forwarder desloca até um ponto de descarga onde forma depósitos de cavacos ou, pode também fazer o transbordo em caçambas *roll-on*. Na Tabela 8 pode-se visualizar uma estimativa do custo operacional do picador/Forwarder.

Tabela 8 - Custo operacional do Picador/Forwarder

ITENS	Picador/Forwarder
Valor do equipamento novo (picador)	216.944,00
Valor residual do equipamento (%)	10
Valor residual do equipamento (R\$)	21.694,40
Vida útil do equipamento (anos)	5
Vida útil do equipamento (horas)	25.000
Consumo de combustível (litros/horas)	14
Valor do combustível (R\$/litro)	1,62
Custo de manutenção (R\$/mês)	20.000
Índice de lubrificantes (%)	10
Número de pneus (equi.)	6
Valor pneu novo (unid.)	9000
Vida útil do pneu novo	10000
Salário do operador (R\$)	1600
Encargos sociais (%)	33,5
Benefícios (R\$/func.)	750
Número de operadores	3
Horas por dia	21
Dias úteis	25
Disponibilidade mecânica (%)	75
Eficiência operacional (%)	65
CUSTOS FIXOS (R\$/hora)	
Depreciação	7,81
Salário do operador	14,07
Encargos sociais (R\$)	4,71
Benefícios	6,59
TOTAL DOS CUSTOS FIXOS	33,18
CUSTO VARIÁVEL (R\$/hora)	
Combustível	22,68
Lubrificante	2,2
Manutenção	50,79
Pneus	5,40
TOTAL DOS CUSTOS VARIÁVEIS	81,14
TOTAL DO CUSTO POR HORA (R\$)	114,32

Com base em dados de produção do picador fornecido pelo fabricante e considerando que o picador tem uma produção estimada de 15m³a/ hora e seu custo operacional é de R\$ 114,32, onde cada metro cúbico aparentes de resíduo picado corresponde a R\$ 7,62.

4.4 Custos finais

4.4.1 Sistema "A"

Considerando-se que o sistema atual entrega 90.000 m³ de madeira para a indústria a um custo de R\$ 4,52 por metro cúbico, a empresa tem um gasto total de R\$ 406.800,00 mensais para geração de energia e alimentação do sistema de produção.

4.4.2 Sistema "B"

Do sistema proposto, verificou-se que seriam entregue 74.700 m³ de madeira para alimentar a linha de produção, correspondendo a 83% do sistema atual. Considerando-se o custo de R\$ 3,99 por metro cúbico, a empresa teria um gasto total de R\$ 298.050,00.

Para a geração de energia é necessário um volume de madeira de 15.300, correspondendo a 11.857,5 toneladas, considerando-se o fator de estiva de 0,775.

Em relação ao volume equivalente de resíduos, considerando-se o seu fator de estiva de 0,260, seriam necessárias 45.606 m³ que, ao custo de R\$ 7,62 por metro cúbico totaliza um gasto de R\$ 347.516,00.

Levando-se em consideração o custo da madeira para produção (R\$ 298.050,00) mais o custo de produção do resíduo (R\$ 347.516,00), o custo total do sistema "B", resulta em R\$ 645.566,00, o que inviabiliza economicamente o sistema proposto, conforme podemos visualizar na tabela 9.

Tabela 9 - Custos Finais

		Sistema "A"	Sistema "B"
Resíduo	Quantidade (m ³)	0	45.606
	Custo (R\$/m ³)	0	7,62
Madeira	Quantidade (m ³)	90.000	74.700
	Custo (R\$/m ³)	4,52	3,99
Total		406.800,00	645.570,72

5 CONCLUSÕES

Do trabalho realizado, pode-se concluir:

Nem a operação de processamento, nem a qualidade do cavaco do resíduo mostraram-se fatores limitantes neste trabalho.

A simulação com processador mostrou que o processamento de árvores na pilha pode ter uma produtividade bem maior do que o processo realizado atualmente na empresa.

A substituição da madeira pelo resíduo proporciona inúmeras vantagens ambientais, benefícios para empresa uma vez que está possui certificações ambientais.

A operacionalidade dos trabalhos de silvicultura ficariam mais facilitados com o sistema proposto, em relação ao sistema atual, visto a diminuição de galhadas no interior dos talhões.

O sistema proposto, em relação ao sistema atual mostrou-se economicamente inviável para empresa, principalmente se for considerado o alto custo da produção de resíduo, que foi de R\$ 7,62 por metro cúbico, correspondendo á mais de 59 % do custo do metro cúbico de madeira utilizada no sistema atual.

Novos estudos deverão ser realizados, visando à diminuição do custo da produção de resíduo, principalmente quanto a influência da capacidade de produção do picador e aumento da produtividade do processador.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, M. C. **Relatório de estágio**. Botucatu: Faculdade de engenharia florestal – Unesp, Botucatu, 2009.
- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA – AIE. Nuclear Power: sustainability, climate change and competition. Paris: AIE/OECD, 1998.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. 2003. Disponível em: www.aneel.gov.br/15.htm. Acessado em: 25 out. 2009.
- ALMEIDA FILHO, E.M. Colheita florestal: um planejamento de longo prazo. Revista Opiniões, Ribeirão Preto: Ed. WDS Ltda, n.20, ago. 2010.
- ARTHUR JUNIOR, J. C.; PULITO, A.P. **Manejo de resíduos florestais**. Revista Opiniões, Ribeirão Preto: Ed. WDS Ltda, n.14, fev. 2009
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. **Florestas plantadas de eucalipto e pinos: A solução verde**. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/bra/saibamais/florestas/index.html>>. Acesso em 07 out. 2010.
- BADGER, P.C. 2002. **Processing cost analysis for biomass feedstock**. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN. ORNL/TM-2002/199, 53 p. Disponível em: <http://bioenergy.ornl.gov/main.aspx>>. Acessado em: 20 out. 2009.
- BARRETO, M. **Gestão de operações de colheita florestal com uso da tecnologia**. São Paulo: ITE, 2010.
- C.T. DONIAN ASSOCIATES INC. **Opportunities and Contraints Associated with Using Wood Waste for Fuel in Connecticut**. Office of Policy and Management, Energy Division. Connecticut, 1990.
- CARVAS, C. Eucalipto: **Os 100 anos da árvore no Brasil. Aventuras na História**. São Paulo: Ed. Abril, n.87, out. 2010. Disponível em: <http://historia.abril.com.br/cotidiano/eucalipto-100-anos-arvore-brasil-4343337.shtml>>. Acesso em: 10 out. 2010.
- CAMARGO, Y.S.P. **Otimização do transporte de madeira**. São Paulo: Fatec, 2005.
- CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA – CENBIO. **Panorama do potencial de biomassa no Brasil**. Brasília; Dupligráfica, 2003. 80 p.
- COUTO, H.T.Z. – Equações de volume e peso para estimar biomassa de Eucalyptus. In: SIMPOSIO SOBRE ENERGIA DA BIOMASSA FLORESTAL, São Paulo, Convênio CESP/IPEF, novembro 1983. **Relatório final**, São Paulo, CESP, 1983. P. 38-58.
- HARTSOUGH, B.; YOUMOGIDA, D. **Compilation of state-of-the-art: mechanization technologies for short-rotation woody crop production**. November 6, 1996. Biological and Agricultural Engineering Department, University of California, Davis. 66 p. 1996.

HOOP, C.F. DE; KLEIT, S.; CHANG, S.J.; GAZO, R. & BUCHART, M.E. **Survey and mapping of wood residue users and producers in Louisiana.** Forest Products Journal 47, 1997. P. 31 – 37.

IGNÁCIO, A. **Estudo de caso sobre o sistema operacional de manutenção de uma empresa florestal.** São Paulo: Fatec, 2008.

INFANTE, F. S.; VEIRAS, G. P. **Aprovechamiento de la Biomassa Forestal producida por la Cadena Monte – indústria.** Parte I: Situação actual y evaluación de sistemas de tratamiento. Revista CIS – Madera, n. 10, p. 6 – 25, 2003.

JOHN DEERE. Imagens.2010. Disponível em <<http://www.deere.com>> acessado em 23 set. 2010.

KLEPAC, J.; RUMMER, B.; THOMPSON, J. 2006. **Evaluation of a cut-to-length system implementing fuel reduction treatments on the Coconino National Forest in Arizona.** In: Proceedings of the 29th Council of Forest Engineering Meeting. Corvallis, OR. Pp. 405-414.

KOMATSU. Imagens. 2010. Disponível em <<http://www.komatsuforest.com>> acessado em 25 set. 2010.

PNUD. Programme des Nations Unies pour le développement. **Production d'électricité à partir de biomasse: bagasse et déchets de canne à sucre.** Disponível em: www.unpd.org/gef. Acessado em: 05 mar. 2004.

RUMMER, R.; SEIXAS, F. **Colheita de resíduos florestais para bioenergia nos E.U.A.** Trabalho publicado nos Anais do VIII Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal. Uberlândia: SIF, 7 a 10 de outubro de 2007. P. 19 – 40.

VIANA, J. **História das florestas plantadas: Análise, demandas e potencial do setor florestal.** In: Evento 100 Anos de Florestas Plantadas no Brasil, 2005, Brasília. Anais eletrônicos...Brasília, ABRAF, 2005. Disponível em <http://www.abraflor.org.br/documentos/100anos/palestra-jorge_viana.pdf. Acesso em 02 out. 2010.

WATZLAWICK, L. F. **Estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrófila mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite Ikonos II.** 2003. 120 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

WESTBROOK, M.; GREENE, W. D.; IZLAR, R. 2006. **Harvesting forest biomass by adding a small chipper to a ground – based tree – length southern pine operation.** In: Proceedings of the 2006 Council on Forest Engineering Meeting. Corvallis, OR. 10 p.

YOUNG, H. E. – The complete tree concept – a challenge and an opportunity. In: SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS MEETING, Denver, set. 27 – out. 1, 1964. Proceedings. Washington, 1965. p. 231 – 3.