

Aproveitamento da biomassa residual de colheita florestal

Ortolan, Claudio⁽¹⁾ Azevedo, Edson. W.⁽²⁾
Antiqueira, A. C.⁽³⁾ Ortolan, Francis A. S.⁽⁴⁾
Bonisch, Hans

RESUMO

O histórico recente de preços do petróleo tem levado um grande interesse ao desenvolvimento de fontes alternativas renováveis de energia. O setor florestal está muito bem posicionado para oferecer algumas soluções. Aqui é analisada a possibilidade do aproveitamento dos resíduos de colheita, galhos e copas sob o ponto de vista do potencial energético, da remoção de nutrientes, de viabilidade econômica, de alternativas de processos e equipamentos.

Palavras chaves: biomassa, resíduos florestais, colheita florestal, energia renovável.

ABSTRACT

The recent oil price history has been a strong driving force to the development of alternative renewable energy sources. The forest industry is in a good position to provide some alternatives. In this paper it is analyzed the possibility of recovering harvest residues, tops and branches, under the aspect of energy content, nutrient depletion, economic feasibility and alternative collection methods and processing.

Key words: biomass, forest residues, forest harvest, renewable energy.

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento da biomassa residual de colheita já foi objeto de muitos estudos e esbarrou em questões principalmente de custo e a preocupação com a depleção de nutrientes e matéria orgânica. O motivo para o interesse renovado é muito simples, a preocupação com a volatilidade e os altos preços do petróleo.

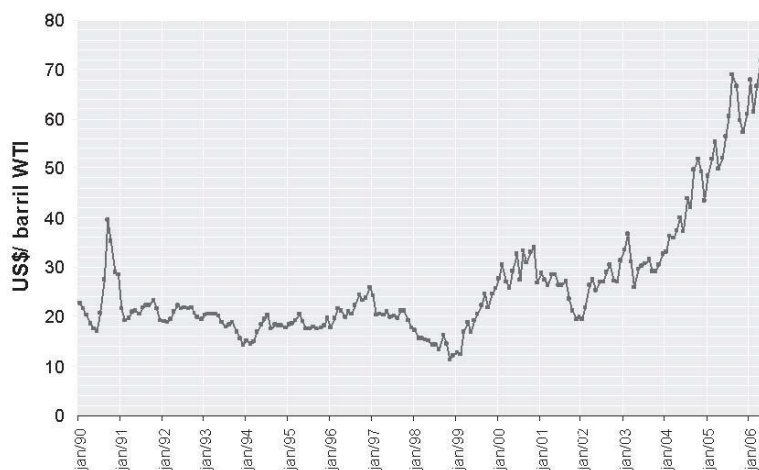
⁽¹⁾ Assessor da Diretoria Florestal, Klabin S.A.

⁽²⁾ Coordenador de Desenvolvimento Operacional, Klabin S.A.

⁽³⁾ Antiqueira Consultoria Floresta; aantiqueira.uol.com.br

⁽⁴⁾ Designer da www.aab.com.br

Gráfico 1: Histórico dos preços de Petróleo



fonte: Nymex

-A demanda por petróleo tem crescido de forma constante assim como as descobertas de reservas, mas, por se tratar de recurso não renovável, em algum momento as novas descobertas não cobrirão as reservas esgotadas. Nesse momento uma demanda incremental relativamente pequena, terá efeitos desproporcionalmente grande sobre o preço.

-Independentemente de termos atingindo esse ponto, só o saberemos depois, haverá a necessidade de energia de fontes renováveis em substituição. A indústria florestal está em boa posição para atender uma parcela essa demanda.

-Além dos preços altos, a volatilidade de preços é uma motivação pela busca de alternativas.

-A biomassa é uma boa alternativa também sob o ponto de vista ambiental por evitar a emissão de CO₂ fixo.

2 O VALOR ECONÔMICO DA BIOMASSA

Considerando-se uma umidade média de 45%, o poder calorífico inferior é de aproximadamente 2.150 kcal/kg. A eficiência de uma grande caldeira de biomassa está em torno de 87%. O óleo combustível tipo 3A tem um PCI de 9.770 kcal/kg. A eficiência típica de uma caldeira a óleo é de 93%.

$$9.770 \times 93\% = 9.090,1 \quad 2.150 \times 87\% = 1.870,5$$

134

A equivalência energética da biomassa, ou seja, o fator de substituição de óleo combustível é de cerca de aproximadamente 5 t de biomassa a 45% de umidade por tonelada de óleo.

O preço do óleo combustível tipo 3A entregue na indústria no primeiro semestre de 2006, no Brasil, é cerca de R\$ 700 por tonelada. Considerando o fator de substituição de 5:1, a biomassa vale cerca de R\$ 140 por tonelada verde entregue. A análise varia se o investimento na caldeira de biomassa, que é muito maior que em uma caldeira a óleo equivalente, já foi feito ou não. A caldeira a biomassa necessita de mais operadores, operação de um pátio de armazenagem. Porém, uma vez feito o investimento e operando-se uma caldeira de biomassa que possa também operar com óleo, esse é o valor da substituição.

Esse valor é superior ao valor da madeira como matéria-prima. Por isso podemos antecipar que se os preços de petróleo se mantiverem nesse nível, as indústrias florestais que utiliza madeira de menor valor, como celulose, aglomerado e MDF terão um novo competidor pela matéria-prima. Na Europa já se está usando até mesmo

o toco com raízes, com rendimento de 50-60 m³/ha. (Kallio *et al.*)

3 DIMENSIONAMENTO DA PRODUÇÃO POTENCIAL DE BIOMASSA RESIDUAL DE COLHEITA

Existe a possibilidade de plantios florestais exclusivamente para produção de biomassa energética, mas aqui trataremos somente de aproveitamento de biomassa residual de colheita.

Apesar de ser um assunto recorrente, a grande volatilidade do petróleo não permitiu um desenvolvimento constante e hoje retornamos aos estudos da década de 1970 e 80 que foram interrompidos por um novo ciclo de baixos preços de petróleo. Energia a partir de biomassa certamente não é um assunto novo, foi o primeiro combustível da humanidade, mas, o aproveitamento de resíduos de colheita em larga escala está nos estágios iniciais de desenvolvimento.

Tabela 1 – Estimativa de área de Colheita Florestal no Brasil

Madeira Industrial	milhões m ³ por ano	m ³ /ha	1.000 ha de colheita por ano
Pinus	42	450	93
Eucalipto	82	280	293

fonte: estimativa Ortolan, C.

A quantidade de material disponível varia muito com o manejo, sítio e material genético. Aqui foi considerado apenas galhos e ponteiros, madeira industrial até 8 cm, não foi considerada a casca do descascamento no campo.

Tabela 2 – Geração Potencial de Biomassa Residual de Colheita no Brasil

Biomassa Residual Potencial	t/ha	t/ha média	1.000 ha/a	1.000 t/a biomassa
Pinus				
desbaste	20-30			
corte final	30-48			
média pinus		35,8	93,3	3.341
Eucalipto				
Corte Raso 1	20 a 30			
Corte Raso 2 e 3	35 a 60			
Corte Final Toras	65,0			
média eucalipto		32,0	292,9	9.371
Total			386	12.713

fonte: para as produções específicas, teste feitos por Klabin S.A.

Esses 12 milhões de toneladas de biomassa residual de colheita teriam um potencial energético de 2,6 milhões de toneladas de óleo ou 19 milhões de barris. Porém não seria prático ou adequado usar toda a biomassa residual de colheita.

4 CONDIÇÕES DESEJÁVEIS

Nem todos os locais terão as condições necessárias ou desejáveis para o aproveitamento da biomassa residual de colheita. Existem limitações importantes, as principais sendo:

- Distância até o ponto de consumo;
- Concentração, o limiar econômico é acima de 35 t/ha
- Exportação de nutrientes

Vantagens do aproveitamento da biomassa residual de colheita (adaptado de Alakangas *et al.*)

- Diminuição da lixiviação de nutrientes para os corpos de água;
- Preparação do solo para replantio pode ser feito com menor impacto;
- Diminui substancialmente o custo do preparo do solo para replantio;

Potenciais desvantagens,

- Material orgânico é retirado do ciclo
- Remoção de nutrientes A perda das condições de fertilidade é de extrema importância especialmente

em

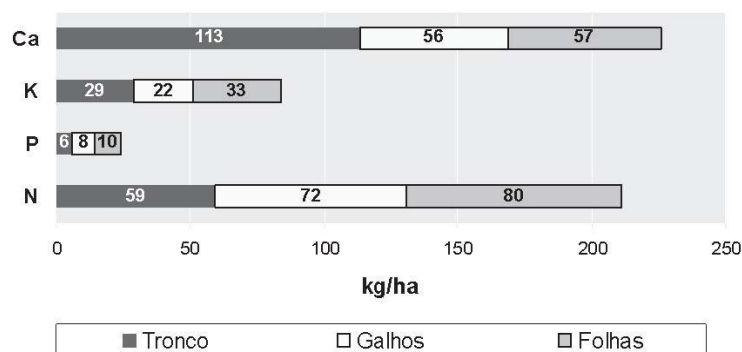
regiões de alta produção e rotações curtas como o Brasil. Foram denominadas “potencial” porque as práticas silviculturais no Brasil, frequentemente não aproveitam o conteúdo de matéria orgânica dos resíduos. Algumas vezes os resíduos são queimados ou enleirados. Na operação de enleiramento não apenas o material orgânico

é concentrado longe de onde as plantas poderiam tirar melhor proveito, mas também é feita a remoção da camada de proteção contra erosão pela chuva. Desta forma, a coleta de biomassa ao evitar o enleiramento e deixando toda matéria orgânica que não é arrastada na colheita, poderá estar melhorando as condições de fertilidade.

5 NUTRIENTES

Nutrientes são retirados pela colheita de madeira. A retirada é aumentada pela retirada de maior volume representado pelas folhas e galhos. A quantidade de folhas e galhos é muito menor que a de madeira, cerca de 10-15% mas contém uma proporção maior de nutrientes que a madeira.

Gráfico 2: Retirada de nutrientes causada pela remoção dos resíduos de colheita.



fonte: Mälkönen, 1975

O estudo foi feito com Scot Pine na Finlândia, considerando uma colheita de 200 m³/ha e uma recuperação de 75% dos resíduos. As interações são complexas e de longo prazo, por exemplo, o Fósforo dos galhos pode levar até uma década para se tornar disponível novamente, o nitrogênio pode ser recuperado pela ação de micorrizas. Na falta de conhecimento amplo sobre o assunto, seria prudente não se retirar a biomassa residual de áreas de menor fertilidade, solos arenosos e com carência de matéria orgânica. Uma compensação parcial da perda de minerais pode ser feita com o retorno e espalhamento das cinzas da queima da biomassa.

6 PODER CALORÍFICO DA BIOMASSA

O conteúdo energético de um material é função de sua composição química. Pode ser quantificado de duas formas, diretamente por bomba calorimétrica ou indiretamente pela composição química. Na bomba calorimétrica a amostra é queimada em atmosfera de oxigênio puro a alta pressão, a reação aquece uma massa de água e pela diferença de temperatura o conteúdo energético é determinado. Por composição química, a quantidade de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre e inertes é determinada. O calor liberado pela ligação desses elementos com o oxigênio é conhecido.

O poder calorífico determinado pelos dois métodos é o poder calorífico superior (PCS). Porém, as caldeiras perdem o calor latente de vaporização da água formada na combustão. A água carrega uma quantidade de calor porque a temperatura dos gases é superior a 100 °C, a temperatura de evaporação da água na pressão atmosférica, com isso perdendo pela chaminé o calor de condensação da água formada pela reação entre o hidrogênio e o oxigênio. Assim apesar de o calor de combustão do hidrogênio ser muito alto também maior é a diferença entre o Poder Calorífico Superior (PCS) e o Poder Calorífico Inferior (PCI) quanto maior o conteúdo de hidrogênio. Como referência o amido com a composição (C₆H₁₀O₅) libera 4.200 kcal/kg na sua

Análise elementar (% base seca)	Casca de Pinus	Casca de Eucalipo	Cavaco de Eucalipto
C (%)	49,83	44,5	46,67
H (%)	6,11	5,5	5,83
S (%)	-	0	0
N (%)	-	1	0,83
O (%)	41,06	46	45,84
Cinzas (%)	3	3	0,83
pcs, base seca (kcal/kg)	4.944	4.610	4.586

fonte: Klabin

Os materiais lenhosos contêm grande quantidade de celulose e hemicelulose. A molécula de glicose é um monômero muito presente. A celulose e amido são polímeros do monômero glicose. De forma geral o PCI da biomassa seca é relativamente uniforme mesmo provindo de fontes completamente diferentes.

O poder calorífico útil de biomassa ainda não é o PCI. A biomassa provém de tecidos vivos que contêm grande quantidade de água. Assim o PCI precisa ser ajustado para a umidade do combustível tal qual queimado.

O combustível úmido tem menos energia contida por unidade de peso porque parte do peso é água e também porque, como a combustão ocorre em temperaturas muito superiores a da evaporação da água na pressão atmosférica, parte da energia disponível

138

é desperdiçada pela saída de água em forma de vapor pela chaminé, além daquela formada na combustão.

A quantidade de matéria inorgânica, principalmente silicatos pode ser significativa na biomassa residual. A madeira contém originalmente apenas cerca de 0,5% de matéria inorgânica por peso seco mas durante o processo de coleta é agregado terra e areia, não é incomum termos até 3% de matéria inorgânica na biomassa para queima. Obviamente contaminação mineral – pedras, solo, areia – é muito ruim, baixa poder calorífico, causa problemas nos transportadores e incrustações nas fornalhas das caldeiras. Uma excelente revisão detalhada das propriedades e composição de biomassa pode ser encontrada em Properties of Wood Fuels Used in Finland, Alakangas, E.,2005.

7 SECAGEM

A umidade é a característica mais importante para se determinar o poder calorífico. Um pergunta que surge é se não valeira a pena secar a biomassa ? A secagem em si tem eficiência negativa, ou seja, se gasta mais energia para secar o combustível do que o aumento em conteúdo energético, porém existem situações práticas onde a secagem poderia ser vantajosa:

- Secagem ao ar livre, a energia de secagem é obtida da atmosfera. Essa secagem teria que ser antes da picagem, pois na forma de cavacos não existe circulação de ar;
- Quando se utiliza o calor residual de outro processo para secagem, por exemplo: o calor contido nos gases da chaminé;

A umidade da biomassa recém cortada pode variar bastante, mas em geral está entre 48-60%. Em 6-10 semanas meses, dependendo das condições atmosféricas, pode baixar para 35%. Existe uma perda de peso seco também pela evaporação de produtos voláteis como terpenos de alto conteúdo energético, assim como pela perda de folhas ou acículas.

O poder calorífico tal qual queimado pode ser calculado da seguinte forma:

$$\text{Kcal/kg} = \text{PCS} \times (1 - \%U) - ((9 \times \%H \times (1 - \%U) + \%U) \times 580)$$

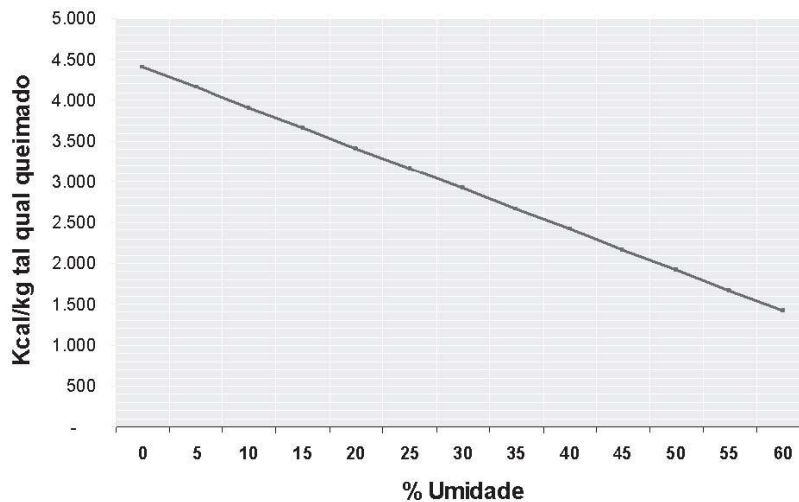
onde

PCS: poder calorífico superior, material seco, em Kcal/kg

%H : peso de hidrogênio expresso em %

%U: umidade, expressa em %

Gráfico 3: Poder calorífico para biomassa, tal qual queimada, em função do teor de umidade.
fonte: Klabin



Para o gráfico acima foi utilizada a média ponderada de uma mistura de casca e madeira de pinus e eucalipto com teor de hidrogênio 6,11% e PCI: 4.410 kcal/kg.

8 BENEFICIAMENTO

O beneficiamento poderá ter um atrativo enorme por permitir transporte de distâncias maiores e/ou atingir mercados mais nobres.

No caso de consumo por uma grande indústria próximo às florestas é mais conveniente investir em equipamentos que permita o uso da biomassa na umidade que se encontra. A biomassa tem pouca densidade entre 300 e 400 kg/ m³ empilhado. O processo de densificação produz pellets ou briquets que tem densidade de 600 a 900 kg/ m³ empilhado. A biomassa residual de colheita tem contaminação maior do que serragem e maravalha. Isso pode ser uma restrição à densificação. Para amenizar o problema, processos de limpeza ou a mistura com materiais mais limpos pode ser utilizado.

9 ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE COLETA DA BIOMASSA RESIDUAL DE COLHEITA

O sistema de colheita é determinante para o sistema de coleta de biomassa. O sistema de colheita provavelmente terá que ser adaptado para o aproveitamento de biomassa. Existe também a interface e vários benefícios para a preparação do solo. É preciso

140

analisar o sistema como um todo, a colheita de madeira, a coleta de biomassa e o preparo de solos.

A adaptação da colheita para aproveitamento de biomassa pode levar a alguma redução na produtividade e isso deverá ser analisado com cuidado. Considerando que a colheita colhe cerca de 10 vezes o peso de biomassa, mesmo um pequeno aumento no custo de colheita elevará significativamente os custos totais.

O recolhimento da biomassa pode ser feito imediatamente após a colheita ou após um prazo. Existem 2 vantagens importantes em se esperar algumas semanas:

a) A biomassa por não formar pilhas compactas, tem boa circulação de ar e seca rapidamente nas primeiras semanas, aumentando o poder calorífico;

b) Em poucas semanas as folhas ou acículas vão cair contribuindo para menor retirada de nutrientes, apesar de também causar perda de massa.

Existe uma variedade enorme de sistemas em desenvolvimento, para efeito de análise poderíamos separar os adaptados ao sistema cut-to-length (CTL) e os adaptados ao tree-length.

O CTL deixa os galhos e copas espalhados no talhão e precisa alguma forma de os reunir. Geralmente os equipamentos são montados sobre fowarders. Um desenvolvimento recente interessante são equipamentos de compactação que formam fardos. Porém o sistema tem um custo relativamente alto, além do que continua sendo necessário o transporte até a estrada e a picagem no destino.



Os sistemas adaptados ao arraste da árvore inteira são sem dúvida os de menor custo. Nesse sistema as árvores seriam cortadas com feller-buncher, arrastadas por skidder até a beira do talhão onde seriam processadas. Se houver produção apenas de madeira de processo o desgalhamento e traçamento pode ser feito por pacotes, caso contrário por cabeçote desgalhador/ traçador.

Algumas considerações:

Picagem no campo: equipamento mais caro, custo operacional mais alto, consumo de diesel ao invés de energia elétrica. O transporte de cavacos também é um desafio, tem densidade relativamente baixa (350-420 kg/m³, dependendo da umidade). Sofre uma compactação parcial ao longo do trajeto o que complica a descarga, o ângulo de descarga tem que ser acima de 60°

Picagem na fábrica: O grande problema é o transporte (baixa densidade) e manipulação da biomassa solta ou mesmo em fardos.

picador de facas x moinho de martelos: o picador produz melhor granulometria, mais uniforme e menos finos, mas mais é sensível a pedras e areia. Custo operacional maior, pelo desgaste das facas, menor disponibilidade mecânica para troca **de facas**.

A experiência que estamos tendo, reunindo galhos e copas com uma pá carregadeira de pneus com garfos retráteis, alimentando o picador com carregador florestal sobre trator de pneus e picador de 350 hp sobre carreta com pneus é a seguinte:

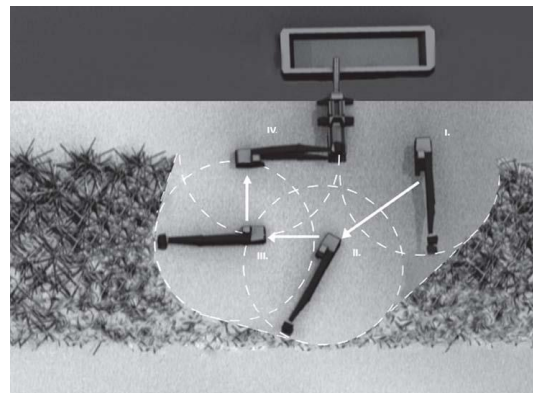
	R\$/t
coleta do material	22
alimentação do picador	18
picagem	10
total	50

Aprendemos com essa operação o seguinte:

- a) A boca de alimentação do picador tem que ser maior que 1 x 0,4 m porque não apenas galhos são alimentados, mas também pedaços de árvores quebrados durante a colheita e tocos.
- b) Existe uma grande perda de eficiência operacional a cada mudança de local;
- c) A colheita tem que ser adaptada para a coleta de biomassa de forma a quebrar o mínimo possível as árvores e deixar os resíduos o mais concentrado possível;
- d) Deve-se manipular o mínimo possível os resíduos, que quebram facilmente e por causa da baixa densidade, o deslocamento é caro;

A próxima evolução seria um picador autopropelido com capacidade de se deslocar dentro do talhão, alimentado por um carregador florestal de grande alcance, algo como 11-13 m. A operação está representado no lay-out abaixo, a faixa de resíduos ocupa uma faixa paralela a estrada com cerca de 25 m de largura.

142



O custo do cavaco na beira da estrada em contêineres está estimado R\$ 25/t. O custo não considera o crédito do custo na silvicultura pelo enleiramento evitado.

10 TRANSPORTE

Temos visto boas oportunidades de adaptar sistemas de baldeio e transporte desenvolvidos na indústria de açúcar e álcool para manipulação da cana-de-açúcar colhida mecanicamente, picada. A sopragem ao invés de correias ajuda a compactar os cavacos. Um desafio é a descarga no destino. Durante o percurso os cavacos compactam e fica difícil a descarga, o ângulo de descida fica maior que 60°.

As principais alternativas de transporte são:

- container “roll-on-off”
- caminhão de cana picada, com descarga lateral
- basculante
- carreta com “walking floor”



11 CONCLUSÕES

- Persistindo os atuais preços de petróleo, ou até mesmo algo inferior, existe uma enorme motivação econômica no uso da biomassa com combustível substituindo óleo;
- .-O valor da biomassa exercerá uma pressão nos preços da madeira fina;
- .-O sistema de colheita é determinante para o sistema de coleta de biomassa e tem que ser adaptado para o aproveitamento da biomassa residual;
- Existem benefícios de custo no preparo e na conservação de solos no aproveitamento da biomassa;
- O fator depleção de nutrientes tem que ser avaliado, as informações ainda não são suficientes;
- A secagem ao ar leva duplo benefício de maior poder calorífico por unidade de peso e menor retirada de nutrientes ao permitir que as folhas ou acículas fiquem no talhão;
- .-O transporte é um desafio adicional porque a biomassa tem densidade baixa e dificuldade de fluidez após a compactação durante o transporte.
- Os sistemas de concentração e picagem de resíduos estão mais desenvolvidos para os sistemas escandinavos ou cut-to-length e menos desenvolvidos para sistemas de colheita tree-length.

REFERÊNCIAS

- Alakangas, E. **Properties of wood fuels used in Finland**. Jyväskylä: Technical Research Centre of Finland, 2005, 90 p. (Project Report PRO2).
- Kallio, M.; Leinonen A. **Production Technology of Forest Chips in Finland**, 2005, Jyväskylä, Finland, 103 p.
- Mälkönen, E. **Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands**. Finland: Espoo, 1974. 845 p.
- Nilsson, B. Näslund, M. **Bioenergy sector in Mid Sweden**. Sweden: [s.n.], 2006. 13p.

