Eucalyptus Online Book & Newsletter

Celsius Degree / Grau Celsius

A Madeira do Eucalipto para Produção de Celulose

Discutindo o Conceito de "Utilização da Árvore Integral" do Eucalipto com Foco na Produção de Celulose Kraft

Celso Foelkel
http://www.celso-foelkel.com.br
http://www.eucalyptus.com.br
https://www.linkedin.com/in/celso-foelkel-2084a414/
https://www.researchgate.net/profile/Celso_Foelkel
https://twitter.com/AVTCPEP
https://twitter.com/CFoelkel

Julho 2017

EUCALYPTUS ONLINE BOOK

CAPÍTULO 47

A Madeira do Eucalipto para Produção de Celulose

Discutindo o Conceito de "Utilização da Árvore Integral" do Eucalipto com Foco na Produção de Celulose Kraft

Uma realização:

Celsius Degree / Grau Celsius
Negócios em Gestão do Conhecimento

Autoria: **Celso Foelkel**

==========

Organizações facilitadoras:

ABTCP

ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais

Empresas e organizações patrocinadoras:

Fibria

ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

ArborGen Tecnologia Florestal

CENIBRA – Celulose Nipo Brasileira

CMPC Celulose Riograndense

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

Klabin

Lwarcel Celulose

A Madeira do Eucalipto para Produção de Celulose

Discutindo o Conceito de "Utilização da Árvore Integral" do Eucalipto com Foco na Produção de Celulose Kraft

CONTEÚDO DO CAPÍTULO nº 47

- APRESENTAÇÃO DO CAPÍTULO E AGRADECIMENTOS
- CONCEITUANDO "UTILIZAÇÃO DA ÁRVORE INTEGRAL"
- COMPONENTES DAS ÁRVORES DOS EUCALIPTOS
- "WHOLE-TREE CHIPPING" – PRODUZINDO CAVACOS DE ÁRVORES INTEGRAIS
- UTILIZAÇÃO DO XILEMA DO TRONCO
- UTILIZAÇÃO DA CASCA DO TRONCO
- UTILIZAÇÃO DA COPA (PONTEIROS FINOS, GALHOS E FOLHAS)
- UTILIZAÇÃO DE TORAS FINAS
- UTILIZAÇÃO DO TOCO, CEPA, TOUÇA COM RAÍZES GROSSAS
- FLORESTAS RECICLADORAS DE CARBONO E NUTRIENTES
- "UTILIZAÇÃO DA ÁRVORE INTEGRAL" SOB O ENFOQUE DA SUSTENTABILIDADE
- CONSIDERAÇÕES FINAIS
- REFERÊNCIAS DA LITERATURA

==========

A Madeira do Eucalipto para Produção de Celulose

Discutindo o Conceito de "Utilização da Árvore Integral" do Eucalipto com Foco na Produção de Celulose Kraft

APRESENTAÇÃO DO CAPÍTULO E AGRADECIMENTOS

A árvore e suas partes ou compartimentos biológicos
(Fonte da imagem: https://branchfingroup.com/)

Esse capítulo de **número 47** dá continuidade a uma série de textos sobre ***"A Madeira do Eucalipto"***, orientados para utilizações industriais da mesma. Esperamos, com esse texto, lhes trazer, não apenas embasamentos teóricos, mas também interessantes aplicações práticas para os casos onde se desejar utilizar a árvore integral (toda sua biomassa) ou mesmo alguns componentes parciais das mesmas (casca, galhos, ponteiros, tocos, etc.) juntos com a madeira do tronco para a produção de celulose kraft. Em outros capítulos, voltaremos à temática da qualidade da madeira, abordando outras características importantes, que definem a qualidade da madeira em função do uso da mesma e das restrições que são encontradas nos diversos processos industriais.

Antes de finalizar esse texto introdutório, eu gostaria de agradecer a oferta de literatura aberta e pública, que foi disponibilizada

por qualificados autores brasileiros e internacionais a respeito do uso integral das árvores, incluindo as de eucalipto pela indústria de celulose kraft. São autores que eu admiro e que me ajudaram a aprender mais e a agregar mais conhecimentos sobre esse tema, antes de lhes sumarizar o texto desse capítulo, que se seguirá. Esses autores são acadêmicos de universidades nacionais e internacionais, consultores e técnicos de nossas fábricas, que se constituem em estudiosos sobre a qualidade da madeira do eucalipto e que têm gerado uma significativa produção científica e tecnológica na forma de artigos, dissertações e teses de pós-graduação. Dentre eles, destaco com justiça, em ordem alfabética, com a penalidade de ter me esquecido de outros nomes relevantes, que tenham se destacado em estudar esse tema de utilização das árvores integrais de eucaliptos e de outras espécies. Dessa forma, destaco para vocês os autores abaixo relacionados, dos quais poderão encontrar artigos, fotos, imagens e outros tipos de publicações na seção final desse capítulo, referida como Referências da Literatura:

- Alexandro Tikkanen
- Ana Lúcia Piedade Sodero Martins Pincelli
- Ceslavas Zvinakevius
- Claudiney do Couto Guimarães
- Cláudio Angeli Sansígolo
- Diego Oro
- Éder Alexandre Buscarato
- Estefano Paludzyszyn Filho
- Harold E. Young
- Helena Pereira
- Hernon José Ferreira
- Humberto Fantuzzi Neto
- Isabel Miranda
- John L. Keays
- J.W. Hatton
- Jorge Gominho
- Jorge Luiz Colodette
- José Lívio Gomide
- José Otávio Brito
- Leonardo Chagas de Sousa
- Mauro Valdir Schumacher
- Olli Tikkanen
- Pentti Hakkila
- Renata Reis de Carvalho
- Richard J. Auchter
- Roberto Villarroel
- Rubens Chaves de Oliveira

- Simone Martini Salvador
- Vail Manfredi
- Vinicius Casselli
- William S. “Bill” Fuller

A vocês leitores, eu gostaria de agradecer toda a atenção e o imenso apoio que sempre me têm oferecido. Todos vocês têm ajudado - e muito - a fazer do **Eucalyptus Online Book** algo muito útil para os técnicos, estudantes, cientistas e demais interessados por esse nosso setor de base florestal plantada.

A todos, um abraço fraterno e um enorme muito obrigado.

==========

Produtos da floresta plantada: muito além de madeira do tronco...

==========

CONCEITUANDO "UTILIZAÇÃO DA ÁRVORE INTEGRAL"

O conceito sobre "Utilização da Árvore Integral" (ou "Whole-Tree Utilization") para produção de energia, celulose, papel e painéis de madeira tornou-se muito debatido pelos técnicos e acadêmicos do setor florestal ao longo dos anos 1960 e 1970.

Os primeiros trabalhos de pesquisa estudaram e propuseram o uso de outras partes das árvores e não apenas a madeira do tronco para a produção desses bens, tendo sido publicados por diversos pesquisadores dos Estados Unidos, Canadá e Finlândia, dentre outros países.

Dentre os autores que alavancaram esse tema em seus primórdios de avaliações conceituais, podem ser citados:

Harold E. Young (University of Maine, USA)

John L. Keays (Canadian Forest Service, Canadá)

J.V. Hatton (Canadian Forest Service, Canadá)

Richard J. Auchter (USDA Forest Service, USA)

D.W. Einspahr (Institute of Paper Chemistry, Appleton, USA)

P. Hakkila (Finnish Forest Research Institute, Finlândia)

Foram anos pioneiros de muita intensidade de publicações de estudos, pesquisas e avaliações práticas. As expectativas eram enormes, pois as quantidades adicionais de matérias-primas obtidas a partir da mesma floresta poderiam render entre 25 até 100% em peso seco, conforme o tipo de modelo adotada em cada situação particular.

Paralelamente aos estudos de pesquisas tecnológicas em escalas de laboratório e de projetos experimentais, surgiram também equipamentos para cooperar para que a biomassa adicional fosse picada ou extraída das florestas, como o caso do "chiparvestor" da Morbark (USA) e do "stumpharvestor" da Pallari (Finlândia). O primeiro se tratava de um picador de árvores, que podia ser transferido de um local para outro, e o segundo um eficiente destocador.

Celso Foelkel

FULL FOREST HARVESTING

*The Source Of Tomorrow's Chips**

DR. J. L. KEAYS is Research Scientist, Wood Fibre Products Section, Western Forest Products Laboratory of the Canadian Forestry Service, Department of the Environment.

He has held this position since joining the Department in 1966. Prior to that he had been associated with the Research Divisions of the Powell River Co. and MacMillan Bloedel Ltd.

Dr. Keays received his B.A. (Economics), B.A. Sc. (Chemical Engineering), and M.A. Sc. (Chemical and Mechanical Engineering) from the University of British Columbia. In 1950 a Ph.D. in Cellulose and Industrial Chemistry was awarded him from McGill University. Dr. Keays' primary interest is the optimum utilization of the forest resource.

By **J. L. KEAYS**
Research Scientist
Canadian Forestry Service
Vancouver, British Columbia

I BACKGROUND

There has been a slowly changing pattern of problems relating to the forest products industries in general, and to the pulp and paper industry in general. Up to the 1930's, the pulp and paper industry was concerned primarily with the development of new pulping processes, new types of equipment, new testing procedures, and new products. Between the 1930's and the late 1960's, concern focused on the refining of techniques and processing principles already established, on increasing the capacity and improving the efficiency of processing equipment, on adapting additional wood species to the conventional pulping processes, and on improving the quality of products firmly established in the market place. Over the past 5 to 10 years, a whole new spectrum of problems arose with respect to air and stream pollution.

In general, for many areas in the world — North America, Europe, and the Soviet Union, there was a plentiful supply of the preferred wood species sufficient in amount that pulp mills could be supplied with bark-free chips from sound, mature boles. Except for isolated circumstances, or in unusual times, the problem of fiber supply was a secondary one.

Future Demand For Paper & Paperboard**

It became increasingly apparent in the mid-1960's that if world demand for wood in general, and for fiber products specifically, were to continue to follow historical growth trends, a fiber shortage was looming. A projection of world demand for pulp and paper, based on a continuation of historical trends, is shown in Table 1.

The values for pulp production or future demand shown in Table 1 do not include dissolving-grade pulps, nor fiber required for fiberboard and composite products. The wood required to produce all of the paper and paperboard, dissolving-grade pulps, fiberboards and composite products for which there will be a demand within 25-30 years is in excess of 1400 million cubic meters. This is well above the present total world cut of industrial wood.

Future World Demand For And Supply Of Wood

The problem of a future supply of raw material for fiber products manufacture is complicated by other demands upon the world forest resource — for plywood, lumber, solid products, miscellaneous products and fuel. A projection of world demand for wood, and an estimate of supply likely to be available from conventional forest extraction and use, i.e., from the inventory of merchantable timber, is shown in Table 2.

O conceito inicial de "whole-tree harvesting" ou "full-tree harvesting" se baseava no interesse de usar tanto quanto fosse possível da parte aérea das árvores (troncos com casca, folhas, ponteiros, galhos, frutas e flores), sendo que pouco tempo depois também as raízes e as cepas residuais da colheita florestal passaram a ser de interesse pela quantidade elevada de matéria seca que podem oferecer. A prática, também denominada de "full-forest harvesting", era mais focada na produção de cavacos de biomassa florestal a partir da parte aérea (total ou parcial) das árvores.

De uma maneira geral, mesmo que nem todo material vegetal produzido pelas árvores da floresta seja aproveitado para uso econômico, ainda assim se denomina de "whole-tree utilization" numa

antecipação de que há interesse em usar mais e mais dos componentes das árvores.

A denominação "whole-tree chipping" também é encontrada com frequência e ela é uma variação da técnica, e se aplica quando a biomassa florestal colhida é transformada em cavacos de madeira (fragmentos de madeira, contendo casca, galhos, raízes, etc.) na própria área florestal.

Existem praticamente cinco situações ou alternativas, onde cada empresário florestal pode eleger a mais adequada para suas operações. A eleição depende da matéria-prima florestal, das tecnologias florestais e industriais e dos produtos almejados a serem fabricados com essa biomassa florestal. Em praticamente todos os casos, a determinante mais importante para se eleger as tecnologias e as partes da árvore que serão colhidas tem sido a de origem econômica: investimentos em máquinas e florestas, custos operacionais, ganhos econômicos na empresa como um todo, etc.

As alternativas de "Utilização da Árvore Integral" são as seguintes:

- Alternativa 1: A árvore integral ou inteira (nesse caso) corresponderia à madeira do tronco da árvore, desde a sua base até a máxima altura do fuste que fosse possível ser processada de forma técnica e economicamente viável para uso industrial.

- Alternativa 2: A árvore integral ou inteira (nesse caso particular) corresponderia ao tronco total com casca da árvore, sendo que cavacos seriam obtidos, contendo toda a madeira e casca do tronco.

- Alternativa 3: A árvore integral corresponderia a tudo que se pudesse obter de biomassa a partir da parte aérea da árvore (tronco, ponteiros, folhas, toras finas, galhos, frutos, flores, etc.).

- Alternativa 4: A árvore integral corresponderia ao uso de tudo que se pudesse obter de biomassa aérea (tronco com casca e copa) e subterrânea da árvore (raízes e cepa residual pós-colheita florestal).

- Alternativa 5: A árvore ou floresta integral corresponderia a toda a biomassa aérea e subterrânea da árvore mais a serapilheira recolhida na forma de fardos similares aos de feno. Essa

alternativa ambientalmente perversa tem sido até hoje considerada e praticada, principalmente em plantações de *Pinus*, já que as florestas desse gênero florestal costumam apresentar densas camadas de acículas sobre a superfície do solo, que acabam se disponibilizando como biomassa.

A produção de biomassa florestal vai sendo gradualmente aumentada conforme sejam introduzidas mais componentes das árvores na colheita da floresta. Geralmente, a biomassa removida é convertida em cavacos para uso industrial ou energético.

A atratividade dessa prática é muito alta, uma vez que se podem obter entre 25 a 100% de massa seca adicionalmente ao que se obtém apenas a partir da madeira do tronco. Entretanto, esses valores de biomassa adicional dependem de: idade; espécie; dimensões e arquitetura do tronco e da copa; proporção de casca, ponteiros, galharia e sistema radicular, etc.

As alternativas para uso energético dessas biomassas têm sido as mais promissoras, pois as exigências em qualidade para esses materiais são menos restritivas do que as para produção de celulose, papel e painéis de madeira.

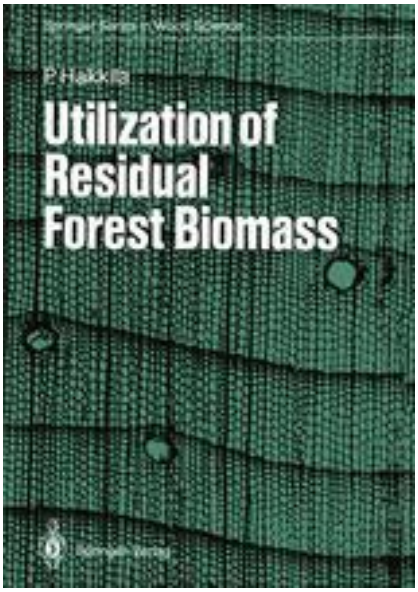
Em 1984, o grande guru florestal Dr. Bruce Zobel enfatizou que a utilização de outras partes das árvores, além da madeira do tronco, deveria crescer em importância em função de ser algo muito atrativo para produtores e usuários de biomassa florestal, que se torna cada vez mais escassa em muitas regiões do planeta. Dr. Zobel argumentou que o uso crescente da madeira pela sociedade humana acabaria promovendo o encarecimento e a escassez das matérias-primas ofertadas pelas florestas. Com muita certeza, concluiu que a demanda crescente de produtos florestais levaria a novas exigências de matérias-primas obtidas a partir da mesma base florestal. Para se obter essa biomassa adicional, Zobel acreditava que esse processo de "whole-tree utilization" aconteceria mais intensamente em regiões tropicais, pois nessas regiões, a produtividade florestal e a diversidade de alternativas seriam mais abundantes. O autor antecipou que não aconteceria apenas a produção de madeiras de florestas diferentes (por exemplo, adensadas), como também seria crescente o uso de resíduos florestais de colheitas, desbastes, serrarias, indústrias moveleiras, papeleiras, etc.

A partir dos anos 1980 e até muito recentemente, o conceito de "Utilização da Árvore Integral" mostrou acentuado declínio de interesse, visto às dificuldades operacionais que muitos desses materiais adicionais traziam às fábricas interessadas em utilizá-los. As principais dificuldades aconteciam nos custos operacionais industriais mais altos e nas perdas

de rendimentos, capacidades e desempenhos em muitas atividades fabris. São também frequentes as perdas devido à abrasão e aos desgastes de equipamentos em função dos altos percentuais de terra, pedras, areia, e íons minerais na constituição dos próprios tecidos vegetais (exemplo: casca).

Com isso, acabavam sendo destruídas as vantagens de maior produção de matéria-prima com mais baixos custos na área de suprimento de biomassa florestal.

Existiram muitos problemas para as fábricas de celulose, mesmo com a adoção do eclético processo kraft de polpação. Eram e ainda são relatadas perdas de rendimentos e de capacidade produtiva em diversas fases do processo industrial (polpação, branqueamento, depuração, etc.), frequentes perdas de qualidade de produtos e diversas ocorrências de perdas de desempenho, aumento do consumo de reagentes, etc.



Atualmente e de forma indireta e intensa, o conceito de usar mais material produzido pelas florestas plantadas está ressurgindo pelo crescente interesse no uso de resíduos florestais deixados na colheita ou desbastes, bem como das "plantações diferentes" de árvores obtidas como plantios adensados.

Na verdade, ao se colherem primeiramente os troncos das árvores mais desenvolvidas e depois os resíduos da colheita (galharia, cascas, toretes perdidos, etc.) está se usando uma variação do "Whole-Tree Utilization", só que em duas etapas: primeiro os troncos e depois os resíduos.

O interesse pelos resíduos florestais se intensificou recentemente em razão do potencial que eles possuem para produção de calor, vapor e eletricidade em caldeiras de biomassa em fábricas de celulose/papel, painéis de madeira, usinas de cana, etc. Os produtores desses tipos de industrializações acabaram ficando motivados para buscar nos resíduos florestais o atendimento de suas necessidades em biomassa energética, complementarmente a outros tipos de biocombustíveis sendo adotados. Esses produtores sabem que terão gastos em picar ou fragmentar esses resíduos, depois classifica-los e limpá-los, às vezes, até secá-los. Muitos chegam a ficar muitíssimo entusiasmados porque acreditam que os resíduos possuam valor comercial nulo (gratuito) ou apenas custam o que se gasta para manusear, transportar e beneficiar os mesmos. Esquecem-se, com essa visão imediatista de curto prazo, de enxergar e avaliar os efeitos de longo prazo de uma prática florestal, que se não for bem planejada e executada, trará irreversíveis e dramáticos efeitos na qualidade dos solos, ecossistemas e balanços de nutrientes.

Além de os resíduos da colheita florestal, o interesse do setor de base florestal tem-se concentrado também em:

- Materiais de desbastes de árvores em sistemas de produção de madeira de mais alto valor agregado;
- Toras finas de árvores finas ou de ponteiros;
- Material florestal obtido de florestas adensadas de rápido crescimento e intensa produção de biomassa/ano;
- Materiais obtidos de plantações de árvores em idades jovens, para os eucaliptos entre 4 a 5 anos nas condições brasileiras;
- Materiais lenhosos com defeitos (ataque de fungos e pragas, material parcialmente queimado devido a incêndios, árvores quebradas por vendavais, madeiras ricas em resinas, etc.);
- Materiais descartados em operações de colheita florestal: toras curtas, serragem do traçamento de toras, cascas, etc.;
- Tocos e raízes extraídos de dentro do solo por possantes destocadores;

- Redução de perdas por mais ecoeficiente gestão e planejamento florestal em todas as suas etapas.

Para permitir uma ampliação da base de conhecimentos dos interessados sobre a temática de resíduos florestais como fontes suplementares de materiais lenhosos para utilização, sugerimos a leitura de três de nossos capítulos do Eucalyptus Online Book, cuja leitura será recomendada em outras ocasiões nesse presente capítulo:

Gestão ecoeficiente dos resíduos florestais lenhosos da eucaliptocultura. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 07. 48 pp. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT07_residuoslenhosos.pdf

Utilização da biomassa do eucalipto para produção de calor, vapor e eletricidade. Parte 1: *Biomassa Florestal & Florestas Energéticas*. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 43. 239 pp. (2016)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT43_Florestas_Energeticas_Eucaliptos.pdf

Utilização da biomassa do eucalipto para produção de calor, vapor e eletricidade. Parte 3: *Resíduos florestais energéticos*. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 45. 235 pp. (2016)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT45_Residuos_Florestais_Energeticos.pdf

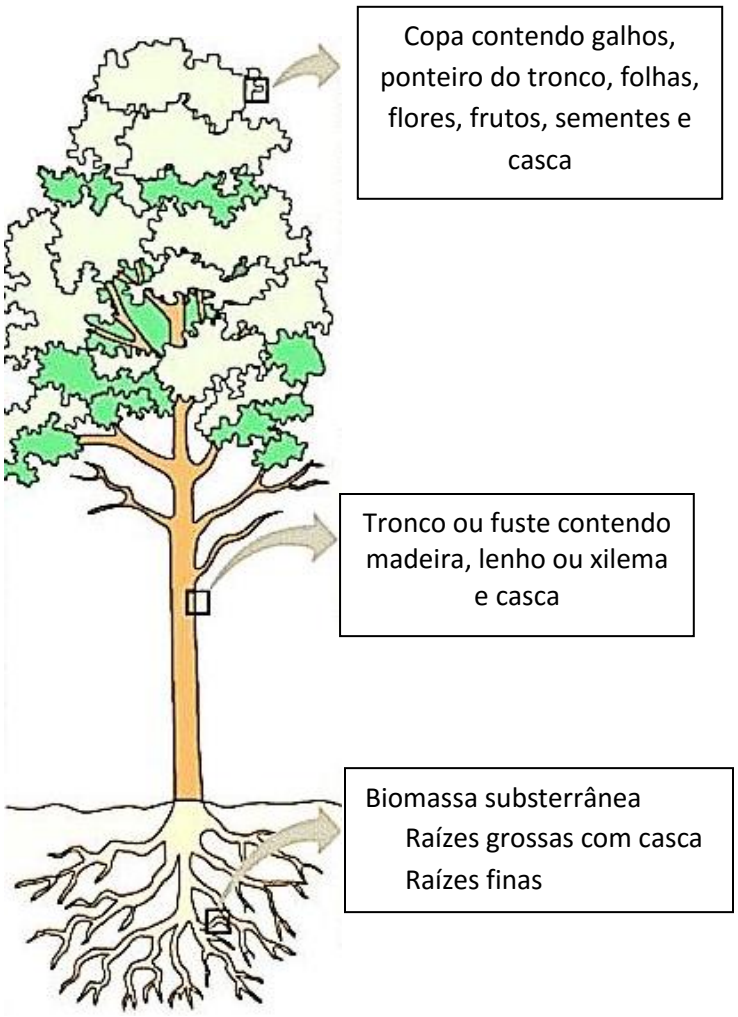
As empresas do setor de celulose e papel têm mostrado interesse não apenas para usos energéticos de diversos componentes da árvore, mas também para produção e fabricação industrial desses bens. Desde o período inicial do surgimento do conceito de "Utilização da Árvore Integral", diversos tipos de componentes das árvores de eucalipto têm sido considerados como fontes de novas fibras de celulose para fabricação de papel. Tanto a casca, como ponteiros, galhos e raízes têm sido vistos como materiais potenciais para suprimentos adicionais de biomassa florestal para fabricação de celulose e papel.

Entretanto, esses novos materiais têm resultado em barreiras operacionais em desempenhos, rendimentos, perdas de capacidade de produção dos equipamentos (digestores, depuradores e branqueamento), perda de qualidades nos produtos finais, etc.

Por outro lado, os equipamentos, sistemas e processos de produção de celulose e papel têm tido uma notável evolução tecnológica, principalmente nos que se referem à polpação, à deslignificação com oxigênio, depuração e branqueamento. Por essa razão, já se podem encontrar fabricantes de celulose, usando mais "cavacos de segunda classe" (materiais de casca, galhos, toras finas) misturados com os cavacos normais de madeira de tronco para endereçamento aos processos de polpação. Alguns tipos de produtos finais toleram bem a utilização desses novos materiais, tais como: papéis de embalagem, miolos de papelão ondulado, miolo de papel cartão, produtos de polpa moldada, etc.

Por essa razão, o presente capítulo do Eucalyptus Online Book tem como missão discutir e debater técnica e cientificamente a utilização de diversos componentes das árvores, em modelos que lembrem a "Utilização da Árvore Integral", em quaisquer das cinco alterativas apresentadas nessa seção. Além disso, esse capítulo coloca forte ênfase em temas associados à sustentabilidade florestal e da capacidade produtiva do solo e dos sítios florestais, quando mais componentes das árvores vierem a ser ou forem mais intensamente utilizados em processos industriais.

COMPONENTES DAS ÁRVORES DOS EUCALIPTOS



A árvore integral – Fonte potencial de novos usos, produtos e algumas ameaças
(Fonte da figura: Adaptada de figura extraída de https://blogdoenem.com.br/transporte-seiva-bruta-fisiologia-vegetal/)

As árvores dos eucaliptos brasileiros possuem vocação natural para serem altamente produtivas, por isso, realizam seus processos fotosintetizadores com intensidade. Com isso, elas formam novos tecidos vegetais, aos quais procuram distribuir com a máxima sabedoria em suas partes ou componentes arbóreos.

A preferência para localização dos novos produtos metabolizados (carboidratos, ligninas e extrativos) é o tronco, pois a competição entre

as plantas do mesmo sítio estimula que cada planta cresça em altura para tentar sobrejujar em altura as plantas concorrentes por luz solar e que estejam próximas a ela.

Para que o tronco cresça em altura e eleve a sua copa para o alto, em alturas acima de 20 - 30 metros, ele precisa ser forte para resistir aos ventos e ao próprio peso da copa. Para se fortalecer, a madeira se adensa e o tronco espessa em seu diâmetro.

Paralelamente, as raízes grossas e pivotantes se aprofundam no solo para ancoragem da árvore. Já para a absorção de água e nutrientes, os eucaliptos se valem de uma enorme rede de raízes finas que se colocam superficialmente, em profundidades menores que 50 cm da superfície do solo.

A copa é constituída de galhos, folhas, frutos, flores e ponteiro dos troncos. Ela é bastante ramificada, com seus galhos que mostram sentidos inclinados, às vezes, até quase paralelo ao solo.

Os galhos sustentam muitíssimas folhas e procuram crescer lateralmente para o aumento da ocupação de espaço em busca da captação de luz solar.

As folhas produzem a fotossíntese e outras reações metabólicas e produzem a seiva orgânica elaborada, rica em compostos de natureza orgânica para serem transportados para os demais órgãos da planta. Com isso, essa seiva ajuda a alimentar e a favorecer o crescimento dos demais órgãos, como folhas, galhos, cascas, ponteiros, raízes, etc.

Enfim, tudo está muito bem orquestrado e balanceado para que cada entidade biológica cumpra seu papel fisiológico em condições otimizadas.

Quanto mais favoráveis forem as condições ambientais oferecidas às árvores, mais elas produzem, crescem e formam volumes adicionais de tecidos e órgãos, entre os quais os troncos.

Quando as árvores dos eucaliptos são ainda jovens e possuem pequenas dimensões, a proporção de copa é mais alta e a de tronco ainda não é tão expressiva quanto o que se observa nas árvores adultas. Apesar disso, a proporção de tronco pode ser relativamente menor, mas em volumes ou pesos absolutos, ainda é a compartimento principal das árvores.

Conforme a árvore vai crescendo em dimensões, a participação do tronco na biomassa total da árvore aumenta, podendo atingir percentuais próximos a 75 a 80% do peso seco da árvore integral, incluindo raízes.

Toda a ciência da engenharia florestal, voltada para a silvicultura de árvores de rápido crescimento como as dos eucaliptos, procura colocar seu foco na otimização desse processo produtivo de formação de mais tronco nas árvores. Com isso, a participação percentual do tronco no peso total das árvores aumenta e se reduz a participação percentual de folhas, galhos e raízes.

Quanto menores forem as árvores, maiores deverão ser as proporções de copa (galharia e folhas), casca nos troncos e raízes. Importante ressaltar que a percentagem de casca é alta em árvores de pequenas dimensões não apenas no tronco, mas em toda a árvore, já que a casca reveste outros órgãos da árvore, como galhos, raízes e ponteiros.

Em árvores muito jovens e de pequenas dimensões para eucaliptos, por exemplo, entre 18 e 24 meses de idade, tem-se que as mesmas estão em pleno processo de adquirir maturidade através de seu crescimento acelerado. Quando se colhem árvores jovens, em idades abaixo de 36 meses, acaba-se colhendo baixas proporções de tronco e se perdem grandes volumes de materiais, que permanecem abaixo da superfície do solo, na forma de raízes, também em processo de ocupação de espaço territorial.

Árvores com 7 anos de idade possuem nas condições brasileiras valores individuais de volumes de tronco comercial próximos a 0,3 a 0,35 m^3. Isso representa algo como um peso de 200 a 235 kg de biomassa seca total para cada árvore, incluídos tronco com casca, copas e raízes.

Por outro lado, as árvores de pequeno porte, seja por idade infantil ou por incapacidade de crescer mais por fatores genéticos ou ecossistêmicos, possuem volumes ainda insignificantes (menores que 0,1 m^3/árvore) de tronco comercial. Essas árvores de pequeno porte possuem altos percentuais de casca, folhas, galhos e raízes em relação a um xilema de tronco ainda de pouca expressão, quer seja em volume ou em peso seco.

Conforme as árvores crescem e começam a competir umas com as outras, na busca de recursos escassos como água, nutrientes e luz solar, elas começam a se tocar com suas copas e a sombrear o solo e as árvores adjacentes. Elas passam a sombrear inclusive os seus ramos e folhas inferiores, mais próximos da superfície do solo. O sombreamento vai fazendo com que essas folhas e galhos das áreas escuras da floresta percam funções vitais, terminando por morrerem.

A morte natural de galhos, folhas e da parte externa das cascas (ritidoma) faz com que as árvores da floresta descartem esses materiais mortos para a superfície do solo.

A queda gradual desses resíduos liberados pelas árvores vai formando uma manta orgânica de restos vegetais sobre o solo. Essa manta vegetal é denominada de serapilheira, sendo que ela desempenha funções vitais para a sustentabilidade das florestas plantadas.

Serapilheira em superfície do solo de plantação de eucaliptos

A serapilheira apresenta papel relevante para a ciclagem dos nutrientes e do carbono orgânico na área florestal. Nutrientes são liberados para o solo e para a absorção pelas plantas que estão crescendo nesse solo, sejam árvores ou plantas do sub-bosque. Já o carbono orgânico, que se incorpora ao solo, se deve ao processo de humificação ou decomposição microbiológica dessa matéria orgânica da manta ou serapilheira.

A manta orgânica de resíduos vegetais também protege o solo contra a erosão, contra o ressecamento, contra a compactação e favorece o desenvolvimento da microbiota do solo.

A decomposição da serapilheira é rápida, embora com o passar dos anos, essa manta vá ganhando espessura até atingir algo como 10 a 15 toneladas de material seco por hectare, apesar dessa intensa decomposição.

A decomposição da serapilheira acaba por converter uma parte dessa manta orgânica em húmus, o que favorece o aumento do teor de carbono orgânico no solo florestal. Esse húmus incorporado ao solo também tem papel relevante na fixação e sequestro de carbono da atmosfera, colaborando para a minimização das consequências nocivas do efeito estufa. Também ajuda na fixação de água e nutrientes pelo solo, restringindo a perda dos mesmos.

A quantidade de serapilheira humificada ou em processo de decomposição sobre o solo florestal depende de um conjunto de fatores, tais quais:

- Liberação de resíduos vegetais pelas árvores;
- Riqueza em nutrientes, em especial de nitrogênio desse ecossistema formado pelo solo e serapilheira;
- Microbiota presente para decomposição da matéria orgânica;
- Umidade e aeração;
- pH desse solo e da manta sendo decomposta;
- Temperatura do solo;
- Estação do ano.

Ao longo da vida de uma floresta de eucalipto manejada para corte raso aos 7 anos de idade, têm-se como possíveis as seguintes deposições de serapilheira para o solo:

- Até o 1º ano de idade: 2 t a.s./hectare
- Do 1º ao 2º ano de idade: 3 t a.s./hectare
- Do 2º ao 3º ano de idade: 5 t a.s./hectare
- Do 3º ao 4º ano de idade: 7 t a.s./hectare
- Do 4º até o 7º ano de idade: 8 t a.s./hectare.ano

Total de biomassa lançada ao solo durante a rotação: 41 t a.s./hectare

Sendo:

55 a 65% de folhas

20 a 25% de galhos e frutos

10 a 25% de cascas

Além disso, quando se colhe a floresta aos 7 anos, ainda ficam no solo:

- 20 a 30 t a.s. de cepas e raízes/hectare
- 20 a 25 t a.s. de resíduos florestais da colheita por hectare (cascas, galhos e folhas descartados durante o abate e seccionamento das árvores)

Em resumo: para a colheita de cerca de 150 a 160 t a.s. de madeira de tronco por hectare de uma floresta de 7 anos de eucalipto, deixa-se cair no mesmo solo florestal algo como 40 t a.s. de serapilheira, 20 a 30 t a.s. de cepas/raízes e 20 a 25 t a.s. de resíduos da colheita (galhos, folhas e cascas). O somatório chega facilmente a 80 t a.s. de material orgânico sobre ou no interior do solo, tudo isso a cada hectare.

Ou seja, para uma produção de 2 unidades de peso seco de madeira no tronco, a floresta plantada de eucalipto libera para a melhoria do ambiente florestal (para decomposição e ciclagem de nutrientes e incorporação de carbono orgânico no solo) cerca de 1 unidade de peso seco de material orgânico representado por serapilheira, raízes e tocos e resíduos da colheita florestal.

Só a serapilheira depositada ao longo do crescimento da árvore corresponde a 50% do total deixado no solo. Logo, a cada unidade de peso seco de madeira fornecida pela floresta, deposita-se 0,25 unidade de peso seco de serapilheira.

Esses fatos podem ser interpretados sob duas óticas:

- Na efetividade na produção de madeira: aparentemente não se pode dizer que a madeira do tronco seja produzida com alta efetividade pelas plantações florestais, pois elas "desperdiçam" muito material como: serapilheira, raízes, tocos, galhos e folhas, flores e frutos, etc.

- Na ecoeficiência na ciclagem de recursos naturais: A floresta plantada é na verdade uma fantástica fábrica da Natureza que busca reciclar seus resíduos para melhorar e ajudar a que a

produção dessa fábrica possa ser perpetuada. Os "desperdícios" voltam para o ambiente florestal, para seu solo em especial, "para que os sistemas naturais sejam mais fechados", com excelentes níveis de recuperação e reciclagem de nutrientes e de incorporação e fixação de carbono orgânico.

Aos 7 anos de idade, quando se colhe uma floresta, sabe-se que foram depositadas aproximadamente 40 t a.s. de resíduos florestais por hectare, formando a serapilheira dessa floresta. Entretanto, caso se faça a mensuração da quantidade de serapilheira encontrada nessa idade de 7 anos, encontram-se apenas 10 a 17 t secas. A razão é simples: a velocidade de decomposição da serapilheira, em especial das folhas, é muito rápida. Em cerca de dois a três anos, a matéria orgânica originalmente depositada já está praticamente quase toda humificada, com significativa perda de seu peso seco inicial. O fino húmus penetra adentro das camadas superficiais do solo, aumentando assim o seu teor de carbono orgânico, a fertilidade, a capacidade de absorção e retenção de água e de nutrientes, as condições de vida microbiológica, etc.

Preparo de solo para plantio florestal de eucalipto e onde se pode observar a riqueza de resíduos florestais sobre o solo (serapilheira e resíduos da colheita)

Plantações de eucaliptos com 18 a 24 meses de idade possuem árvores muito jovens ainda, com diâmetros de tronco e volumes comerciais ainda muito pequenos. Nessas idades, o tronco ainda é

juvenil, ou mesmo infantil, representando pouco mais do que a metade do peso seco total da árvore integral.

Observem o que se costuma encontrar para florestas de eucalipto nessas idades:

- Tronco da árvore: 50 a 65% do peso seco total
  - Madeira do tronco: 45 a 55% do peso seco total
  - Casca do tronco: 8 a 14% do peso seco total
- Galharia da copa: 8 a 12% do peso seco total
- Folhas da copa: 9 a 12% do peso seco total
- Raízes debaixo do solo: 18 a 25% do peso seco total

Essas árvores jovens têm potencial para produção de muito maior proporção de tronco e de madeira por tronco, caso lhes seja permitido crescer por mais tempo. Na verdade, essas árvores ainda estão se estabelecendo como seres vivos, produzindo folhas, galhos e raízes para ocupação de espaços aéreos e subterrâneos. Ocupar esses espaços é algo vital e necessário para as plantas de qualquer floresta. Isso vai melhorar a posição competitiva de cada árvore em relação às suas vizinhas. Por outro lado, o espaço oferecido às plantas precisa ser equilibradamente ocupado por toda a população florestal para que elas utilizem adequadamente a capacidade de produção desse sítio florestal.

Em idades muito jovens, as árvores ainda não estão prontas para plena utilização da capacidade produtiva que elas poderiam desempenhar, não apenas em total de biomassa seca sendo produzida, mas principalmente em qualidade dessa biomassa, representada pela melhor distribuição da mesma em tronco, madeira, casca, galhos, folhas e raízes.

Quando os produtores florestais imaginam e praticam modelos intensivos de produção florestal com plantações adensadas para colheita de árvores com 24 meses, por exemplo, estarão rapinando recursos naturais (nutrientes exportados, perda da qualidade dos recursos hídricos e do solo). Também estarão produzindo matéria seca de qualidade inferior (baixa proporção de madeira com baixa densidade básica) e desperdiçando o excelente potencial de mudar a distribuição desses componentes arbóreos em favor de maior nível de utilização industrial de materiais com melhor valor agregado e de com maior nível de sustentabilidade.

Conforme as árvores crescem em dimensões, fato demonstrado indiretamente pelo aumento de seus diâmetros, as proporções entre as

frações componentes das árvores se alteram, aumentando gradualmente a proporção de tronco e de madeira no tronco e reduzindo os percentuais de casca, galhos, folhas e raízes. Apesar de o tronco aumentar de dimensões e de conteúdo em madeira, o teor de casca no tronco diminui com o crescimento da floresta. Isso se deve ao fato conhecido como ritidoma, que é liberação anual de casca externa das árvores, por sua vontade própria, ou seja, por decisões da sua natureza.

As proporções relativas entre tronco, madeira de tronco, casca de tronco, raízes, galhos e folhas vai depender então basicamente dos seguintes fatores:

- Espécie ou clone florestal;
- Idade das árvores;
- Produtividade do crescimento em tronco;
- Diâmetro do tronco;
- Dimensões gerais das árvores;
- Arquitetura da copa;

- Arquitetura do sistema radicular.

Conforme as árvores ficam mais velhas e mais grossas em seus troncos, aumenta o percentual de tronco na biomassa total, assim como se reduzem as participações percentuais das biomassas de folhas, galhos e raízes.

O espaçamento de plantio deve ser controlado de forma a permitir a melhor produtividade da floresta em tronco e em madeira de tronco para a idade em que se pretenda colher a mesma. Conforme o objetivo seja colher florestas com 5 anos, ou então com 7 anos, é essencial se selecionar o espaçamento (ou a densidade populacional) adequado para cada uma dessas duas situações.

Em suma, qualquer produtor florestal deve entender claramente os objetivos que terá para sua floresta sendo plantada, mas terá também que entender como as árvores crescem e como serão distribuídas as diversas frações arbóreas que as constituem.

Para facilitar o entendimento do que até agora foi tratado nessa seção, estará sendo disponibilizada uma tabela auxiliar ilustrativa, dando estimativas dos percentuais em peso seco dos diferentes componentes arbóreos, isso para florestas de eucaliptos com 3 e 7 anos de idade, crescendo em adequadas condições de produtividade no Brasil.

Outra missão dessa tabela é a apresentação dos dados sob duas bases:

- Em base da biomassa total das árvores, incluindo as raízes;
- Em base apenas da biomassa aérea, ou seja, tronco e copa, excluindo-se as raízes.

A razão para essa separação é muito simples: existem enormes confusões entre artigos publicados, alguns apresentando a distribuição percentual base biomassa total, outros em base de biomassa aérea. Caso não fique muito claro ao leitor sob que base os dados estão referidos, podem ser cometidos erros e interpretações inadequadas dos dados.

Apesar de se disporem na tabela em questão de dados estimativos e preditivos para apenas duas idades de florestas, dados para outras idades intermediárias podem ser estimados com relativa facilidade, por interpolações matemáticas e observação de tendências.

Para idades superiores a 7 anos, deve-se ter em mente que se a floresta conseguir manter seu crescimento, a participação do tronco deverá aumentar ainda mais, bem como a percentagem de madeira nesse tronco. Paralelamente, teremos reduções nas participações da copa e das raízes na biomassa total da árvore.

Entretanto, é recomendável que se busque suporte na literatura para consolidação e validação de valores e de dados, pois existem variações grandes entre espécies florestais, locais, idades, espaçamentos, tipo de manejo, rotações, etc.

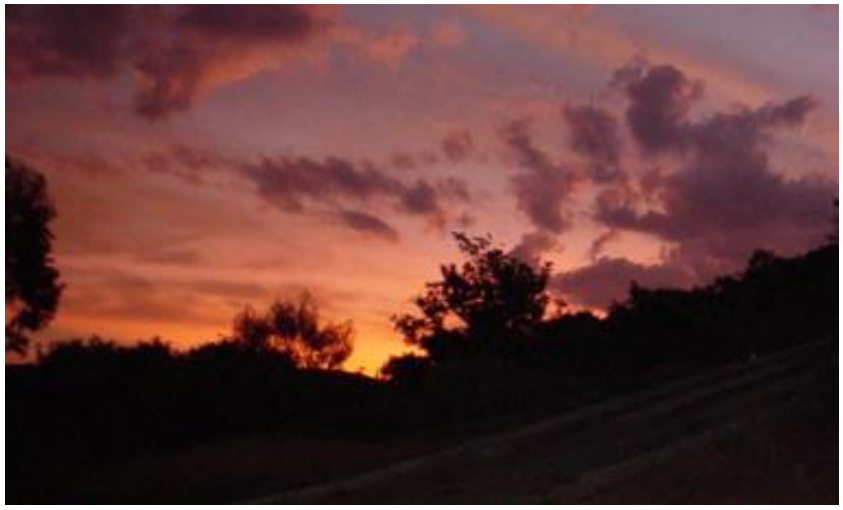
As plantações de pinheiros também mostram grande diversidade para as distribuições de suas biomassas aéreas e subterrâneas

Com base em dados como os ilustrados nessa e em muitas outras tabelas de inúmeros autores que estudaram os eucaliptos em diferentes locais, idades e espécies, podem ser aperfeiçoados os processos de tomadas de decisão sobre o planejamento das plantações e das operações da silvicultura dos eucaliptos.

A seguir, a tabela ilustrativa com dados de tendências para a distribuição das biomassas secas nas árvores de eucaliptos e que estejam crescendo em florestas plantadas nas situações de produtividades usuais no Brasil, entre 40 a 50 m³/hectare.ano. Isso para situações de adequadas práticas florestais.

	BASE ÁRVORE INTEGRAL		BASE BIOMASSA AÉREA	
Idade floresta	7 anos	3 anos	7 anos	3 anos
Tronco	72 – 80	60 – 68	82 – 90	72 - 78
• Madeira	65 – 75	50 – 60	75 – 84	60 – 65
• Casca	5 - 7	8 - 10	6 - 8	10 - 12
Copa	7 – 12	15 – 20	9 – 15	20 – 24
• Galhos	4 – 8	8 – 10	6 – 11	10 – 14
• Folhas	2 - 5	7 - 9	3 - 6	8 - 12
Raízes	12 - 18	15 - 20	-----	-----

*Valores indicativos com base em pesos secos das respectivas biomassas



Produzindo cavacos de árvores integrais (de suas partes aéreas)
Fonte da figura ilustrada: Perusyhtyma, Finlândia

"WHOLE-TREE CHIPPING"
PRODUZINDO CAVACOS DE ÁRVORES INTEGRAIS

Picador de árvores integrais
(Fonte: Planalto Picadores)

As decisões sobre converter a cavacos ou não, ou então, em onde fazer o cavaqueamento do material florestal são funções de diversos fatores, dentre os quais os mais importantes são: a necessidade de se ter obrigatoriedade ou não de se converter esse material em cavacos e a que custo.

Algumas das utilizações dos materiais produzidos pelas florestas plantadas, mesmo os de árvores integrais, não necessitam de conversão a cavacos, como seria o caso do uso dos mesmos para gaseificação, produção de carvão vegetal ou uso como lenha em toretes. Em outros casos, a produção de cavacos pode ser alternativa à do uso de toretes, como podem ser diversos dos possíveis usos de materiais para processos termoquímicos (torrefação, gaseificação, etc.).

Entretanto, a grande maioria dos usos dos materiais lenhosos produzidos pelas florestas implica em se converter as toras ou os resíduos da colheita em fragmentos ou partículas menores, como é o caso mais comumente praticado, que é a conversão em cavacos.

A grande vantagem da transformação em cavacos é a facilidade de manusear e transportar um material muito mais uniforme e homogeneizado (cavacos), pois diversos componentes florestais de diferentes pesos e formatos (cascas, galhos, raízes, ponteiros) são

picados e convertidos em algo muito mais simples e homogêneo em dimensões e densidade.

Outro ponto crítico para se definirem estratégias de gestão operacional de empresas, que decidem produzir cavacos, é saber onde se colocar a operação de picagem ou fragmentação dos materiais: na floresta, ou na fábrica?

Existem basicamente três alternativas para isso:

- Na própria fábrica usuária da biomassa florestal, pois existem algumas facilidades em atividades que melhorariam a qualidade dos cavacos, como: picagem em equipamentos adequados, lavagem e classificação dos cavacos, separação de contaminantes, estocagem dos cavacos em pilhas cobertas ou não, etc.

- No próprio talhão florestal, com o uso de colheitadeiras ou picadores móveis, com abate e picagem das árvores em sequência, sendo que os cavacos podem ser soprados diretamente para caçambas ou caminhões baú para transporte imediato após a produção.

- Em pátios intermediários de processamento com localizações pré-definidas, usualmente às margens de talhões onde as árvores estejam sendo abatidas pela colheita. Nesses locais, se colocam equipamentos robustos e produtivos, que são capazes de executar diversas operações, tais como: desgalhamento, descascamento, traçamento, picagem, classificação e limpeza dos cavacos e carga de veículos transportadores dos cavacos.

As operações de picagem ("chipping") realizada na área florestal e o transporte dos cavacos para unidades industriais de consumo devem ser muito bem orquestradas para que se alavanquem vantagens operacionais e eficiências no uso de diversos equipamentos e processos que são sequenciais: colheita das árvores, transporte das árvores para a unidade de picagem, conversão a cavacos e depois transporte dos cavacos para a unidade industrial consumidora.

Existem quatro tipos principais de sistemas de colheita florestal e cada um deles tem suas peculiaridades, as quais precisam ser bem casadas com as operações de picagem a cavacos desses materiais colhidos. É ainda possível existirem operações híbridas entre os

diversos sistemas de colheita, picagem e transporte, sendo que as decisões sobre o que adotar são dependentes das condições locais e das estratégias empresariais.

Os sistemas de colheita florestal relatados como mais frequentes são os seguintes:

- Sistemas de toras curtas ("cut-to-length"): onde as diversas operações auxiliares no processamento das toras (destopo, desgalhamento, traçamento e até descascamento) são executadas no interior do talhão da floresta. As toras são produzidas em comprimentos pré-definidos e variando entre 1 a 7 metros; sendo depois levadas às fábricas. É o sistema mais usual para fábricas de celulose e papel, painéis de madeira, etc.

- Sistema de toras longas ("tree-length"): onde o desgalhamento e o destopo são feitos no talhão, mas os troncos em seu comprimento comercial são transportados para as margens do talhão, onde são traçados em toras de comprimentos mais longos (entre 3,5 a 7 m) e empilhadas. Existem situações onde se procede ao descascamento dos troncos na beira do talhão, em operação que antecede o traçamento. Em geral, esse sistema de descascamento gera grandes volumes de casca, que depois são problemáticos para disposição e espalhamento sobre o solo, a menos que exista algum tipo de comercialização para retirada dessas cascas.

- Sistema de árvores inteiras ("full-tree harvesting"): onde a árvore integralmente e com toda sua parte aérea é levada para uma área de processamento, adjacente ao talhão de colheita, onde sofre todas as operações requeridas.

- Sistemas de produção de cavacos ("chipping"): onde as árvores são convertidas em cavacos no campo e não nas fábricas. As árvores podem ser previamente preparadas pelo desgalhamento, destopo ou até mesmo descascamento e depois picadas. Existem também picadores ou colheitadeiras florestais que abatem as árvores e convertem toda a parte aérea das mesmas em cavacos. Finalmente, existem ainda equipamentos robustos para extração dos tocos/raízes do solo, limpeza e fragmentação em cavacos desse material.

Picador de árvores integrais
(Fonte: Hartsough & Nakamura, 1990)

Quando a opção é pela produção de cavacos a partir de árvores integrais ou semi-inteiras (de apenas alguns componentes da parte aérea ou total das mesmas), existem algumas características típicas desses sistemas que precisam ser conhecidas, ou seja:

- Todos os sistemas existentes e com viabilidade técnica e econômica são complexos e exigem equipamentos, operadores e manutenções em altos níveis de qualificação.

- Os cavacos obtidos são definitivamente mais irregulares e mais contaminados dos que os obtidos nas fábricas usando toras lavadas e previamente descascadas.

- Há que se orquestrar muito bem as sequências de eventos para maximizar eficiências e reduzir custos.

- O sistema de produção de cavacos na área florestal se colocará direta e intrinsecamente associado ao sistema de colheita florestal e ao sistema de transporte dos cavacos para as unidades usuárias. Não há como se estocar cavacos no mato, embora se possam estocar toras esperando para serem picadas. Em geral, não existem condições de serem criados estoques intermediários e tampouco existem possibilidades de longos "tempos de espera" entre uma operação e outra. Por essa razão, todas as operações

devem ser muito bem feitas e estarem bem alinhadas para redução de custos, melhoria de eficiências operacionais e garantia de qualidade dos cavacos dentro das especificações requeridas.

- As unidades usuárias dos cavacos devem estar localizadas nas proximidades das áreas de produção dos mesmos, pois os custos de transporte de materiais muito volumosos como os cavacos podem destruir os ganhos obtidos na área florestal.

- A remoção de materiais florestais ricos em nutrientes para fora da área florestal implicará em adequados estudos de balanços nutricionais das florestas e das exportações e reposições de nutrientes por esse tipo de processamento.

- Conforme o sistema que se venha a adotar, podem sobrar grandes volumes de resíduos depositados nas proximidades das áreas de processamento no campo. São casos comuns: acúmulo de cascas, de galharia, de tocos e de cavacos perdidos esparramados pela área toda.

- Existe uma associação muito íntima entre o teor de umidade do material a ser processado e as eficiências e qualidades das operações. Por essa razão, tanto as condições climáticas como os tempos decorridos entre o abate das árvores e o processamento em cavacos precisam ser bem conhecidos e os efeitos negativos minimizados. Cada caso terá suas próprias especificidades e merecerá avaliação individualizada própria.

Quando se tem como objetivo a produção de cavacos de árvores integrais na área florestal, é preciso ter consciência que essas sequências de operações não devem ser realizadas por amadores ou iniciantes no assunto. Os investimentos são altos e as qualidades obtidas dos cavacos podem ser muito variadas, às vezes até inapropriadas para atendimento das especificações de uso. Por exemplo, basta que o teor de areia seja elevado demais em cavacos para uso energético, que eles se tornam inadequados para queima em caldeiras de biomassa.

Alguns produtores rurais podem ficar encantados com a ideia de produzir cavacos "para ganhar uma fortuna" e se aventuram nesse processo, comprando pequenos picadores móveis para picar galhos, árvores finas, resíduos florestais, etc. Na maioria das vezes, as

operações acabam sendo descontinuadas, pois são ineficientes, onerosas, demandam muito uso de mão-de-obra e de combustíveis.

Esses pequenos picadores de campo, como são assim chamados, são muito indicados para picar resíduos de podas de árvores em municipalidades e árvores finas de desbastes florestais. Porém, têm baixa eficiência e costumam ter baixo uso de suas disponibilidades, ficando muito tempo parados. Também, quando muito exigidos com materiais inadequados, acabam resultando em manutenções seguidas.

Muitas vezes, o produtor rural faz inadequadas avaliações de mercados, de distâncias a percorrer, de custos de manuseio e transporte. Com isso, os custos incorridos acabam destruindo as receitas de venda, resultando em fracasso como negócio. Portanto, sugere-se que sejam feitas avaliações prévias em análises de viabilidades técnicas e financeiras.

Em geral, a produção de cavacos de árvores integrais (em suas diferentes opções relatadas nesse capítulo) vem sendo feita por grandes produtores ou usuários de materiais lenhosos, na maioria das vezes para fins energéticos como cavacos ou para produção de péletes ou briquetes. Tem-se como aceitação prática que a forma mais rápida e fácil de usar a árvore integral é transformando suas partes arbóreas (aéreas e/ou subterrâneas) em cavacos. Os cavacos são materiais mais homogêneos em composição, formatos e dimensões. São também mais facilmente manuseados, transportados e estocados. Isso já sabemos, mas é bom reforçar.

As principais vantagens da produção de cavacos de árvores integrais na área florestal são as seguintes:

- Maiores facilidades de manuseio, transporte e estocagem dos materiais mais homogêneos que são os cavacos, como previamente já relatado.

- Maior produtividade em biomassa florestal pela mesma área de terra pelo uso adicional de galhos, ponteiros, casca, raízes, etc.

- Menor necessidade em novas áreas plantadas pelo ganho em produção de biomassa por unidade de área.

- Redução dos custos da silvicultura nas plantações subsequentes, pois a área fica mais limpa e em alguns casos, o solo fica pré-preparado (como no caso da extração de raízes).

- Uso de materiais lenhosos que eventualmente estejam sendo gerados e descartados como resíduos.

- Flexibilidade no uso de materiais mistos, por exemplo, colhidos de plantios mistos, utilização de material do sub-bosque, etc.

- Redução de riscos com incêndios e pragas, devido redução de biomassa volumosa e seca, que pode se acumular sobre o solo. É o caso da redução de população da praga conhecida como cascudo serrador da acácia negra.

- Utilização de materiais lenhosos, que tenham sido tornados inadequados devido a algum desastre natural, como incêndio, quebra de árvores pelo vento, inundações, etc.

- Oferecimento de novas alternativas aos produtores rurais, mas antes se recomendam adequados estudos de viabilidade.

Uma das poucas alternativas de uso para áreas de eucalipto que tenham sido devastadas por vendavais é a conversão em cavacos do que sobrou das árvores

As principais desvantagens de produzir cavacos de árvores integrais na área florestal são as seguintes:

- Matéria-prima muito irregular em formato, qualidade, dimensões, etc.

- Os custos elevados em investimentos e nas operações exigem altos níveis de eficiência produtiva (disponibilidade, uso do tempo, manutenções adequadas, rendimentos exemplares, etc.).

- Operações não devem ser sazonais, pois os investimentos para serem pagos com retorno demandam máxima utilização dos equipamentos (máximas disponibilidade e utilização dessa disponibilidade).

- Sistemas são menos adequados para regiões muito acidentadas, embora se possam planejar bem as instalações dos postos intermediários de processamento do material em cavacos.

- Sistemas sujeitos às condições climáticas e com necessidade de operações noturnas, para máximo uso da capacidade produtiva.

- Operações com maiores riscos em segurança operacional, demanda por pessoal qualificado e treinado.

- Máquinas muito robustas e com mobilidade mais difícil (não válido para todos os sistemas).

- Qualidade dos cavacos mais difícil de controlar, conforme variarem as florestas e as partes das árvores que forem picadas.

- Maior agressão ao sítio florestal devido à concentração de atividades antrópicas e uso de máquinas pesadas capazes de danificarem o solo (erosão, compactação, etc.).

- Custos altos com reposição de nutrientes extraídos do solo, bem como em práticas de conservação do mesmo.

Existem algumas tendências principais na utilização de máquinas cavaqueadoras florestais:

- Picadores móveis ou portáteis, que picam não árvores inteiras, mas resíduos florestais como toras, toretes, galhos, ponteiros. Esses picadores são "quase portáteis" e se movem no talhão ou nas margens dos talhões, picando material fino ou mais grosseiro, carregando uma caçamba conjugada a ele para receber os cavacos.
  Exemplo:
  Picadores ou trituradores de resíduos Lippel
  (vide referências da literatura ao final do texto)

- Abate, preparação da árvore e fragmentação no próprio talhão florestal, com envio dos cavacos para um veículo ou para uma caçamba colocada conjugada à colheitadeira picadora. Para o caso dos eucaliptos, costuma ser aplicada para árvores entre 18 até no máximo 30 meses de idade, quando os diâmetros e a resistência da madeira ainda estejam em valores adequados a esse procedimento.
  Exemplo:
  Colheitadeira New Holland
  (vide referências da literatura ao final do texto)

- Colheita das árvores inteiras pelo sistema conhecido como "feller buncher" e transporte das mesmas até uma das margens do talhão, onde estão localizadas as máquinas pícadoras, em uma espécie de pátio de processamento. Nesse pátio podem ser realizadas diversas operações, dependendo das decisões e das necessidades da empresa, tais como: desgalhamento, destopo, descascamento, mesa vibradora de toras para remoção de terra e pedras, picagem ou fragmentação, classificação e limpeza dos cavacos e carga dos cavacos prontos ou semi-prontos em veículos próprios para o manuseio ou o transporte.
  Exemplos:
  Picadores Morbark
  Picadores Vermeer
  Picadores Planalto
  Picadores Peterson Pacific
  Picadores Lippel
  (vide referências da literatura ao final do texto)

No caso desse tipo de opções, devem ser feitos ajustes e planejamento de operações para que não existam tempos de ociosidade entre os diversos equipamentos envolvidos.

Em geral, os pátios de processamento costumam gerar grandes quantidades de rejeitos (restos de galhos, ponteiros, cascas, terra e pedras, toretes esfacelados, etc.). Isso vai fazer com que outras operações subsequentes sejam realizadas para espalhamento desses restos vegetais sobre o solo, de preferência de volta ao talhão, de forma ampla e bem distribuída.

A eficiência operacional e o desempenho adequado dessas máquinas dependem de alguns fatores críticos:

- Condições climáticas;
- Distâncias a serem percorridas com o arraste de árvores e com os cavacos prontos e enviados para utilização;
- Continuidade de alimentação de toras ou de árvores inteiras ao picador;
- Sintonia entre a produção e a carga dos cavacos para envio dos mesmos conforme sejam produzidos;
- Disponibilidades mecânicas e operacionais;
- Tipos de maquinários e de veículos para transporte;
- Perdas de materiais lenhosos, qualidade das estradas florestais; etc.

Os equipamentos de picagem ou fragmentação podem ser móveis ou semi-estacionários.

Os picadores móveis são espécies de colheitadeiras que fazem "quase tudo", pois abatem as árvores e picam tudo o que podem delas.

Os picadores semi-estacionários dependem de um posicionamento estático dos mesmos na beira do talhão durante o

tempo em que as árvores estejam sendo colhidas por outros tipos de equipamentos. Quando a colheita do talhão termina, eles podem ser movidos para a beira do próximo talhão que vai ser colhido. São as toras ou as árvores que se movem até a máquina e não a máquina que vai abatendo e colhendo as árvores dentro do talhão.

Em todos os casos, a logística para manuseio, carga, transporte dos cavacos é vital. Três problemas que podem ser críticos costumam ser: falta de sintonia entre as operações de corte das árvores e sua picagem; recebimento dos cavacos em veículo inapropriado e transporte irregular dos cavacos produzidos para a unidade consumidora.

Lembrar que essa picagem no campo de materiais irregulares das árvores integrais resulta em cavacos que possuem baixas densidades aparentes base seca. As densidades a granel dos cavacos de campo dos eucaliptos costumam ser inferiores a 150 kg a.s. por metro cúbico de cavacos, principalmente devido às cascas de menor densidade e dimensões irregulares dos mesmos.

Os cavacos podem ser produzidos por três tipos de sistemas de fragmentação: picadores de discos, fragmentadores a tambor e fragmentadores a rotor. O tipo de cavaqueador vai depender do material a picar e da qualidade requerida nos cavacos. As exigências para cavacos a usar em bioenergia são menos restritivas do que os cavacos para produção de celulose e para alguns painéis de madeira (MDP, por exemplo).

Sugerimos a leitura da seguinte referência bibliográfica, que apresenta com detalhes uma operação de produção de cavacos para fins energéticos em área florestal, com interessantes avaliações de parâmetros de desempenho:

Análise técnica de um cavaqueador e caracterização energética de cavacos de biomassa da colheita da madeira. D. Oro. Dissertação de Mestrado. UNICENTRO – Universidade Estadual do Centro-Oeste. 89 pp. (2015)

http://www2.unicentro.br/ppgf/files/2016/04/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Diego-Oro.pdf

Existem diversas empresas no Brasil que possuem sistemas de picagem de toras ou de árvores inteiras na área florestal. Um dos casos bem conhecidos, devido à grande produção e pela demanda qualitativa requerida nos cavacos é o da empresa Fibria, em sua unidade florestal de Capão Bonito-SP. Os cavacos produzidos na floresta representam cerca de 30% das necessidades de uma grande fábrica de celulose branqueada de mercado de eucalipto (localizada em Jacareí-SP), que se vale do processo kraft e exporta significativo percentual de uma produção acima de um milhão de toneladas anuais. Os cavacos são obtidos em picadores Peterson (três na floresta) e Morbark (um na própria fábrica). Os picadores de campo são montados nas margens dos talhões e possuem sistemas conjugados para desgalhamento e descascamento parcial, picagem e limpeza parcial dos cavacos. A árvore é abastecida ao sistema em sua quase total integralidade, mas existem equipamentos acoplados de correntes, que rompem e removem parte das cascas e galhos, permitindo que os cavacos obtidos sejam tão adequados à fábrica como os produzidos a partir de toras descascadas, lavadas e picadas na própria fábrica (restantes 70% do abastecimento). Os cavacos produzidos no campo são misturados aos produzidos na fábrica e de acordo com os técnicos da empresa, as qualidades dos cavacos de campo são perfeitamente adequadas em suas especificações para produção de celulose de mercado de excelentes padrões qualitativos. Tão logo produzidos na floresta, os cavacos são direcionados para os grandes caminhões transportadores, que os carregam para uso imediato na fábrica. Não se adota estocar esses cavacos florestais, somente em situações excepcionais e se isso vier a acontecer será na fábrica e não nas florestas.

De maneira geral, os cavacos obtidos em picadores de campo não costumam apresentar as mesmas qualidades dos cavacos produzidos em fábricas a partir de toras lavadas e descascadas.

As razões para essas diferenças são óbvias:

- Presença de cascas, galhos, contaminantes como terra, etc. no material florestal sendo picado;

- Sistemas de picagem de alta robustez, mas com desempenhos qualitativos na maior parte das vezes, inferiores aos das fábricas.

As principais diferenças entre os cavacos obtidos de árvores integrais ou semi-integrais na floresta em relação aos cavacos produzidos em unidades industriais a partir de toras de comprimentos pré-fixados, muitas vezes sem casca, mas quase sempre lavadas, desgalhadas e destopodas são as seguintes:

- Menores valores de densidade aparente base seca, devido à irregularidade de dimensões e presença da casca, que é um material menos denso do que a madeira. Logo, o material obtido na floresta de árvores integrais é mais volumoso, ou seja, um mesmo peso seco rende maior volume em cavacos.

- Maiores teores de contaminantes como terra, areia, folhas, serapilheira, pedras, etc.

- Composição química ligeiramente distinta dos cavacos produzidos somente das toras de tronco, em especial quanto aos seguintes constituintes: teores de extrativos e de cinzas (ambos maiores).

- Dimensões mais variadas das partículas de madeira, pela própria irregularidade dos diversos componentes das árvores, que são incluídos no material sendo picado, bem como pelas características de engenharia dos picadores de campo.

- Possibilidade de maior presença de madeira apodrecida resultante da picagem de galhos, troncos e raízes mortas e semidecompostas.

- Quanto maior for a presença de casca que for junto com o material sendo picado, piores serão diversos itens da qualidade dos cavacos resultantes, tais como: poder calorífico, densidade aparente, teores de extrativos e de cinzas, irregularidade em dimensões. Lembrar que a casca está presente em quase todos os componentes das árvores, como tronco, galhos, ponteiros, raízes, etc.

- Mais rápida decomposição biológica dos cavacos produzidos de materiais de árvores integrais. Esses cavacos possuem maior teor de nutrientes minerais, devido à presença de folhas, casca e até mesmo de raízes. Também formam pilhas mais arejadas (favoráveis aos organismos aeróbicos), em função da menor densidade aparente desses cavacos empilhados.

  Existem formas de minimizar os efeitos negativos da degradação biológica desse tipo de cavacos: a melhor é uso imediato dos mesmos após produção, sem estocagem. Caso seja necessário estocar, usar pátios cobertos e evitar que as pilhas se umedeçam, pois os organismos necessitam de umidade para sua ação biológica de biodegradação lenhosa.

Na área florestal, uma medida que pode ser tomada é deixar as árvores inteiras abatidas sofrendo secagem natural por alguns dias dentro do próprio talhão. Existem vantagens dessa prática: redução do teor de umidade dos futuros cavacos; maior facilidade de liberação de contaminantes como terra, areia, serapilheira; perda de folhas secas sobre a área do talhão, para melhoria da ciclagem de nutrientes.

Cavacos de árvores integrais obtidos por fragmentador de materiais mistos (cascas, madeira, galhos, folhas)

Cavacos de árvores integrais podem ser utilizados em diversos processos de produção, sendo que os mais apropriados (em ordem viabilidade potencial em função de suas qualidades) são os seguintes:

- Combustão e geração de eletricidade, vapor e calor;
- Gaseificação de biomassa;
- Produção de péletes ou briquetes;
- "Mulching" em atividades agrícolas (horticultura e jardinagem) ou zootécnicas (cama de aviário, etc.);
- Recuperação de solos empobrecidos, como o caso das florestas recicladoras propostas pela Embrapa Florestas;

- Compósitos com cimento;

- Produção de diversos tipos de substâncias ou complexos químicos pelas biorrefinarias integradas (furfural, etanol lignocelulósico, xilitol, bioóleo, etc.);

- Painéis de madeira com menor demanda qualitativa na matéria-prima florestal (painéis OSB – *Oriented Strand Board*, MDF – *Medium Density Fiberboard* e Chapas Duras – *Hardboard*);

- Produção de outros tipos de painéis (MDP - *Medium Density Particleboard*, ou painéis de partículas aglomeradas);

- Celulose para produtos de polpa moldada;

- Polpação kraft e processos semiquímicos alcalinos ou neutros para produção de celulose para utilização papeleira (papéis não branqueados como embalagens e papéis branqueados ou semi-branqueados para cartões multicamadas, impressão, etc.).

Produção de cavacos de árvores integrais ou de resíduos florestais.
Qual é o limite sustentável para essa prática?

==========

Acabou-se de mostrar que as árvores de eucalipto são muito mais do que apenas seus troncos.

A partir desse momento, serão apresentadas diversas seções ao longo desse capítulo do Eucalyptus Online Book para que se possa compreender melhor a potencialidade de cada uma das partes componentes dessas árvores eucalípticas para polpação kraft na produção de celulose.

Outros processos como o processo sulfito e os processos de alto rendimento são menos adequados a usarem esses materiais diferentes em relação ao xilema do tronco, por razões diversas próprias deles, como presença maior de extrativos e contaminantes diversos (casca, terra, etc.). Por essa razão, as discussões e textos serão mais focados na polpação kraft da árvore integral de eucalipto e de seus componentes individualizados.

Estamos combinados assim, então?

UTILIZAÇÃO DO XILEMA DO TRONCO

Toras de madeira sem casca (descascamento na área florestal)
... ou ainda, o "valioso e esperado xilema dos troncos das árvores de eucaliptos"

A madeira ou xilema do tronco costuma ser o principal foco da maior parte dos plantadores de florestas com algum tipo de propósito comercial.

Entretanto, existem alguns usos dos troncos das árvores, que aceitam sem restrições, ou até mesmo agradecem a presença da casca junto à madeira. É o caso da fabricação de carvão vegetal, cavacos ou toras para fins energéticos, painéis de madeira dos tipos MDF, OSB e chapas duras. Outras utilizações dos troncos das árvores não suportam a presença de casca ou outros contaminantes como galhos, ponteiros, etc.: é o caso de produção de madeira serrada de "qualidade prime", de madeira preservada ou de produtos de alto valor agregado de madeira.

Finalmente, existem ainda grupos de produtos cujo foco é a madeira do tronco, mas que podem aceitar, dentro de certos limites, alguma contaminação com casca, galhos, ponteiros, folhas, etc. É o caso da produção de celulose kraft, painéis do tipo MDP, dentre outros. Nesse último caso, quando é possível se aceitar certo nível de contaminantes

de outros componentes das árvores, esse percentual de aceitação vai depender das tecnologias disponíveis, níveis de sobrecarga do uso da capacidade das fábricas, dos rendimentos e desempenhos operacionais e da qualidade dos produtos sendo fabricados.

O tronco das árvores contém a maior parte da madeira produzida pelas árvores. Em geral, essa madeira do tronco é obtida pelo corte da árvore até certa altura, que se denomina de altura comercial. O limite dessa altura comercial depende das especificações do processo fabril, mas costuma estar em uma altura onde o diâmetro da árvore tenha entre 4 a 8 cm, com casca.

Madeira, lenho ou xilema pode também estar presente em galhos, ponteiros e raízes, porém em proporções bem menores em relação à biomassa total da árvore. Na maior parte das vezes, a obtenção da madeira se faz concomitante com a necessidade de remoção de algum tipo de contaminação, como de casca, de folhas, de flores e frutos, ou mesmo de terra (no caso das raízes).

Definitivamente, a madeira do tronco corresponde ao "filé mignon" das árvores das florestas plantadas para fins industriais e econômicos. Por essa razão, o melhoramento florestal da eucaliptocultura tem procurado orientar a produção das árvores das florestas plantadas para terem máxima produtividade em troncos e nesses troncos, a menor proporção de casca. Tem-se conseguido bastante sucesso nesses dois quesitos.

Atualmente, conforme a idade, espécie, clone, práticas silviculturais e proteção florestal, o tronco pode representar entre 65 a 80% do peso seco da biomassa total das árvores melhoradas de eucalipto, para abate entre 4 a 7 anos. A casca desses troncos pode representar entre 5 a 9% do peso seco da biomassa total florestal, ficando só a madeira do tronco com 60 a 75% dessa biomassa, com os menores valores de madeira para as idades mais jovens. Lembrar que existe madeira e casca também nos galhos, raízes, etc.

A madeira dos troncos de florestas de eucalipto em idades mais adequadas de colheita pode representar entre 70 a 75% do peso de biomassa total da floresta. Por essa razão, tanto a qualidade da madeira como a relação entre conteúdos de casca e de madeira nos troncos são hoje importantes critérios de seleção de árvores pelos melhoristas florestais.

Quanto menores forem as dimensões das árvores (principalmente seus diâmetros), menores serão os percentuais de biomassa de tronco em relação aos demais constituintes. Nesses casos, aumentam os percentuais de copa, raízes, etc. Também fica mais elevado o percentual de casca no tronco.

Árvores sendo traçadas para comprimentos de toras que variam atualmente entre 3,5 a 7 metros

Apenas como exemplos, já que esses dados são muito variáveis em função de múltiplos fatores, pode-se mencionar que:

- Uma floresta de eucalipto aos 3 anos de idade, mesmo que esteja crescendo muito bem, tem apenas 60 a 68% de seu peso seco de biomassa total alocado no tronco. Só esse tronco deve possuir algo como 12 - 15% de seu peso seco como casca e aproximadamente 85 - 88% de xilema ou madeira.

- Uma floresta melhorada e bem manejada de eucalipto aos 7 anos de idade terá algo como 75 a 80% do peso seco de sua biomassa total colocada nos troncos, sendo que nos troncos se tem entre 6 a 8% de casca e 92 a 94% como peso seco de madeira, em base seca.

Com isso, fica claro que as árvores de maior produtividade em volume e peso seco são as consideradas mais indicadas para a moderna silvicultura orientada para resultados, pois elas também possuem mais madeira de tronco.

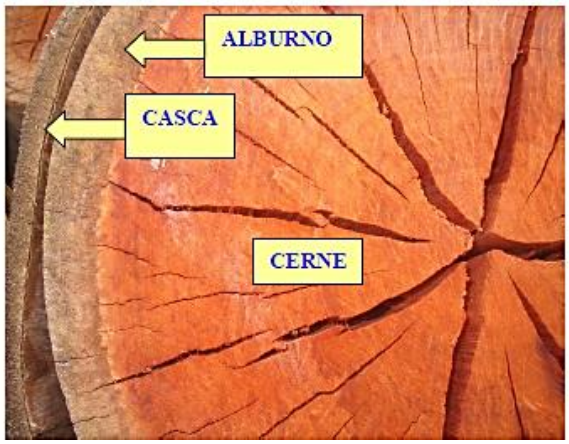
Além disso, fica cada vez mais claro a todos os plantadores de florestas que o tronco das árvores é a parte das mesmas a ser privilegiada. Quando o plantador florestal estabelece seu planejamento florestal, ele está fundamentalmente interessado em produzir xilema de

tronco. Os demais componentes das árvores podem ser orientados a subprodutos, ou então, para resíduos descartáveis.

Mais do que nunca, embora as evidências atuais apontem para o oposto, os plantadores de florestas deveriam se orientar para obter e colher florestas de eucalipto com árvores de ótimos volumes e pesos, algo entre 0,35 a 0,5 m³ por árvore em seu volume sólido de tronco comercial. Quando o produtor despreza essa regra e colhe florestas muito jovens e de baixos incrementos e dimensões de árvores, ele obterá um material com menos madeira e de prováveis piores desempenhos industriais, além de problemas no manuseio, transporte, estocagem, etc.

Mesmo que seu objetivo seja a produção de mais elevado peso seco de biomassa aérea por hectare, com os tais de plantios adensados, não há dúvidas de que esse material terá uma menor proporção de madeira (ou de "filé mignon") em sua composição.

O xilema ou madeira das árvores é constituído de dois importantes tipos de madeira: cerne e alburno. Conforme o tipo de produto sendo fabricado, as proporções de um ou outro desses dois tipos de xilema podem afetar desempenhos industriais e qualidades de produto.



Para as idades nas quais os eucaliptos são colhidos para produção de inúmeros produtos no Brasil (entre 6 a 8 anos), os cernes ainda são jovens e com densidades básicas inferiores às dos alburnos correspondentes.

Conforme o teor de extrativos aumenta no cerne com a idade crescente e com a compactação das células pela restrição exercida pela

casca, o cerne gradualmente amadurece e fica com maior valor de densidade básica.

A proporção de cerne e alburno varia muito com a altura das árvores, sendo que na base das árvores (proximidade das raízes) se tem as maiores proporções de cerne e as menores de alburno. Isso porque as regiões próximas ao topo das árvores são as mais jovens das árvores, formadas em épocas recentes em relação à idade cronológica das mesmas árvores.

É importante se conhecer como o xilema das árvores varia em função da altura das mesmas, da base para o topo. Isso para permitir que se possa melhor usar as mesmas, bem como saber que influências isso poderia ter sobre os ponteiros e toras finas superiores dos seus troncos.

Existem inúmeros estudos e teses acadêmicas mostrando como varia a qualidade da madeira ao longo do tronco ou fuste. Nesse particular capítulo, citamos algumas dessas publicações nas referências de literatura para servirem de orientação aos leitores. Dentre elas, sugiro a leitura do seguinte texto:

Variação do rendimento em celulose sulfato ao longo do tronco do *Eucalypytus grandis* Hill ex Maiden e *E. saligna* Smith. V. Manfredi. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 103 pp. (1985)

http://www.eucalyptus.com.br/VailManfredi/1985_Variacao_Rendimento_Celulose_Tronco.pdf (em Português)

Porém, o propósito desse presente capítulo não é o de discutir essas diferenças a fundo, mas apenas mostrar como uma árvore de eucalipto distribui sua casca e suas madeiras de cerne e alburno ao longo do seu tronco. Com isso, poder-se-á melhor entender sobre o uso integral da mesma.

Para isso, tomei a liberdade de usar um conjunto de figuras de um artigo que teve com principal autora minha talentosa ex-aluna engenheira florestal e mestre Cláudia Adriana Bróglio da Rosa e do qual fui um dos coautores, junto a outros acadêmicos na época:

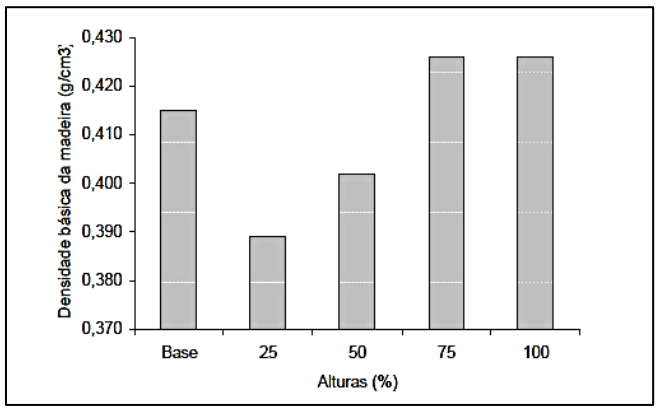
Variação das características das árvores de *Eucalyptus saligna* Smith em função da altura do tronco. C.A.B. Rosa; D.M.M. Flores; G.V. Cardoso; C.E.B. Foelkel; S.M.B. Frizzo. 1º Simpósio Brasileiro de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 12 pp. (2001)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Casca_arvores_simposio_PG2001.pdf

Esse artigo avaliou como os componentes casca, madeira, cerne e alburno se distribuíam no tronco em função da altura comercial (Hc) de árvores clonais de *Eucalyptus saligna* com idade pouco superior a 7 anos.

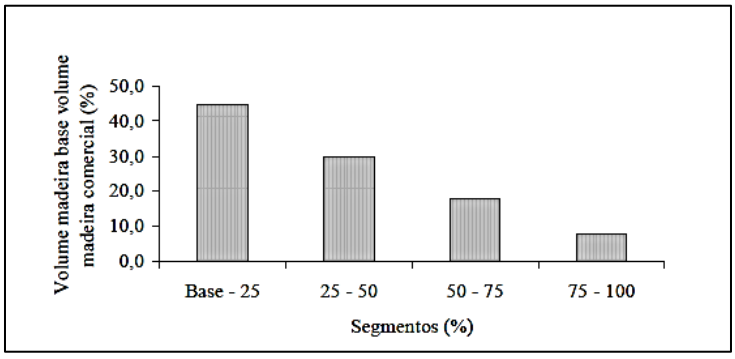
As conclusões foram as seguintes, relatadas com figuras para facilitar a visualização das mesmas:

- A variação da densidade básica da madeira acontece de forma irregular ao longo da altura do tronco, em um modelo onde: a densidade básica é alta na madeira bem próxima da base da árvore (proximidades da interface com a raiz) baixando até aproximadamente 25% de Hc para depois crescer novamente em direção ao topo da árvore, em regiões onde começa a predominar o alburno em madeira mais recentemente formada.



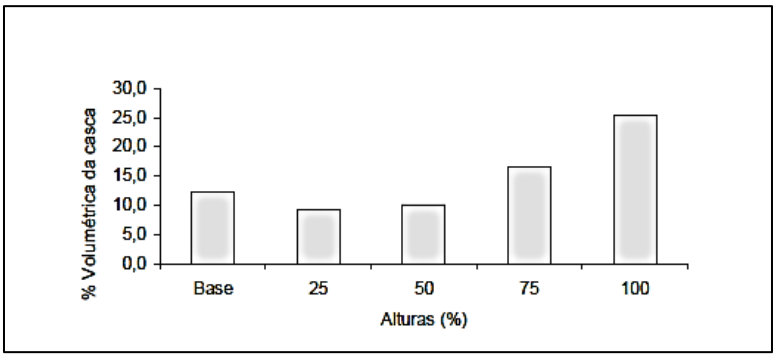
Variação da densidade da madeira ao longo da altura comercial (Hc) do tronco

- Até a metade da altura comercial (50% Hc) se colocam entre 65 a 75% do volume comercial de madeira de tronco das árvores.



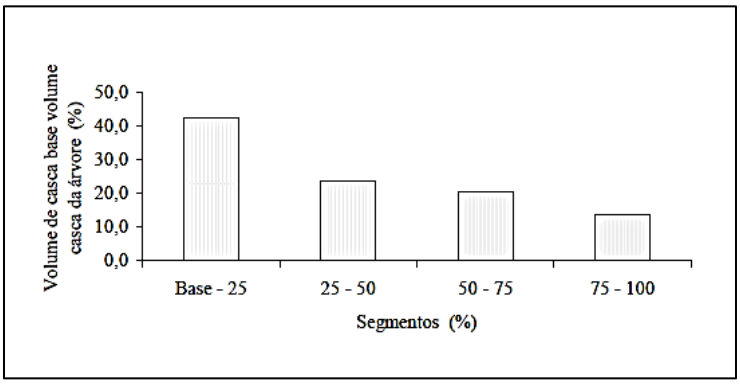
Distribuição do volume de madeira ao longo da altura comercial das árvores

- A participação percentual da casca a uma dada altura aumenta conforme diminui o diâmetro do tronco. Com isso, pode perceber que as toras de ponteiros superiores das árvores são muito mais ricas em casca.



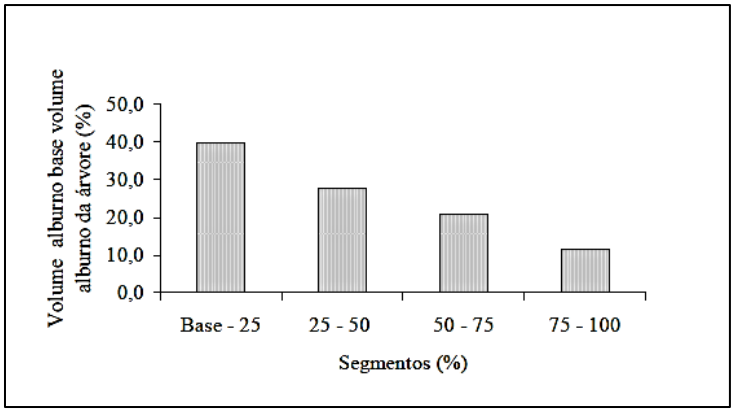
Porcentagem volumétrica de casca em função da altura comercial (Hc) do tronco

- 60% a 65% do volume total de toda a casca se localiza até a metade da altura comercial da árvore, mesmo se sabendo que os toretes próximos ao topo chegam a ter percentualmente duas vezes mais casca do que os da base.



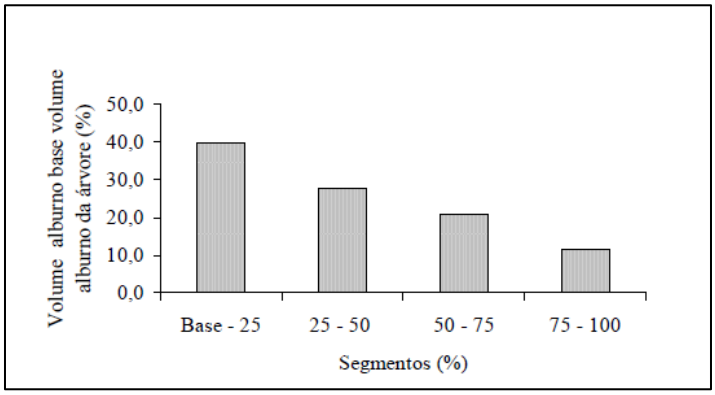
Alocação da casca ao longo da altura comercial

- Cerca de 75 - 80% do volume de todo o cerne está alocado na metade inferior da altura comercial das árvores.



Alocação do cerne ao longo da altura comercial

- Cerca de 65 - 70% do alburno de toda a árvore estão alocados na metade inferior da altura comercial das árvores.



Alocação do alburno ao longo da altura comercial

Dessa forma, pode-se perceber quão importante é o tronco das árvores para quem produz florestas de eucalipto, e mais importante ainda, a metade inferior do tronco da árvore.

Os toretes superiores das árvores podem representar algo entre 5 a 12% do volume comercial das mesmas, sendo que esse percentual varia conforme o diâmetro que se considera como limite de corte para a altura comercial e da dimensão da árvore. Esse limite de diâmetro depende de especificações negociadas entre cada unidade fabril e a respectiva área florestal (ou fornecedores de toras de madeira): costuma variar entre 4 a 8 cm (diâmetro com casca)

Toras do mais puro xilema em tronco de eucalipto recém abatido

UTILIZAÇÃO DA CASCA DO TRONCO

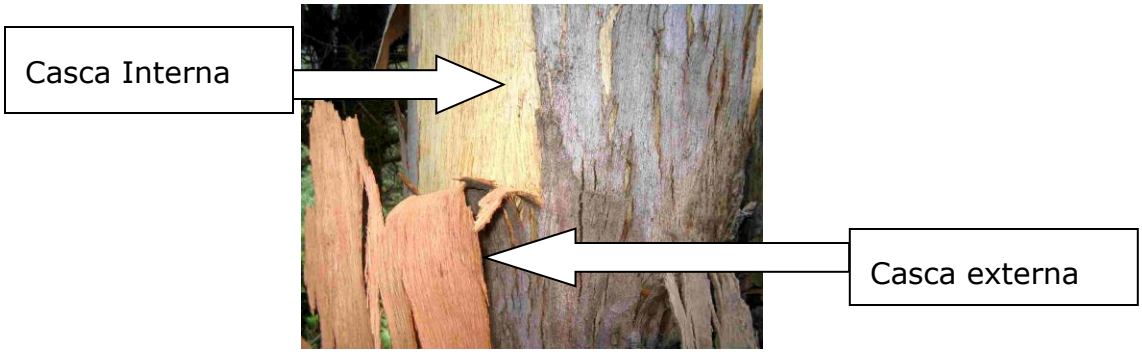
Toras de tronco contendo casca

As cascas das árvores existem em praticamente todos os componentes que possuem lenho ou xilema, pois ela tem a função de proteger o lenho que está presente no tronco, fuste, galhos, ponteiros e raízes. A maior parte da casca está no tronco, onde ocorre em proporções que variam entre 10 a 25% do volume e 7 a 10% do peso seco, conforme a dimensão, forma, idade e seção de tronco sendo avaliada.

Formação e anatomia da casca dos eucaliptos

O termo casca das árvores se refere a todos os tecidos formados para o lado de fora do câmbio vascular, que é um tecido meristemático secundário formador de células de madeira e de casca. O processo como a casca é formada é que conduz aos diferentes modelos de cascas nas árvores dos eucaliptos, ou entre espécies, entre árvores e na própria árvore.

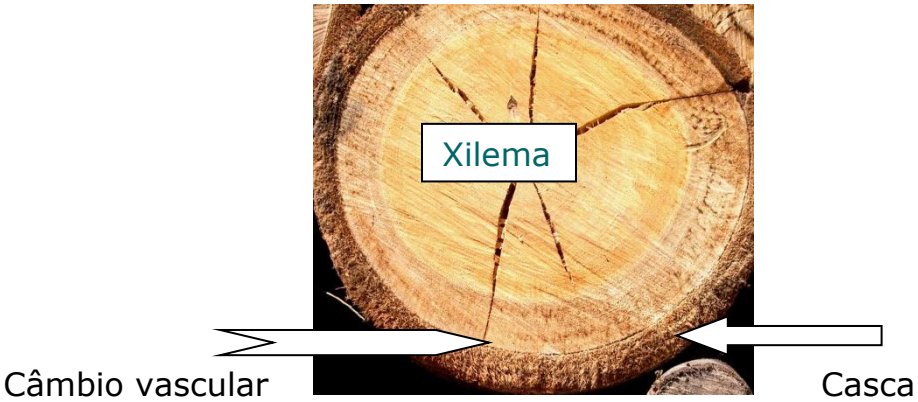
As cascas dos eucaliptos são constituídas de dois tipos de camadas ou regiões de células:



- Casca interna: quase que completamente viva, ativa e localizada imediatamente ao lado do câmbio vascular, para o lado de fora em relação à medula do tronco. É pela casca interna que se transloca a seiva (elaborada pelas folhas) através de elementos ativos do floema.

- Casca externa ou ritidoma: constituída de tecidos quase ou completamente mortos em sua maioria. Forma uma barreira de proteção para prevenir danos que possam vir do meio ambiente (ataques de microrganismos, insetos, herbívoros, tempo muito seco ou muito úmido, temperaturas abaixo do ponto de congelamento da água, fogo ou incêndios florestais, etc. O ritidoma, como também chamada a casca externa que se solta, contêm células mortas de floema, sem mais função de transporte, além de células de súber ou cortiça. É muito comum entre muitas espécies dos eucaliptos acontecer o desprendimento de camadas de ritidoma em forma de fitas ou grandes placas de cascas que se soltam da árvore viva. Muitas vezes, as cascas mostram cores e desenhos de uma arte natural deslumbrante.

A casca é formada pela atividade de dois tipos de meristemas laterais, não apicais, ou câmbios: o câmbio vascular formado entre o xilema ativo (alburno) e a casca interna; e o câmbio do súber ou felogênio.



Quando a árvore é bem jovem, ainda um arbusto ou uma mudinha, a epiderme ainda existe. A epiderme seria a pele da planta jovem. Nessas plantas jovens, a casca é constituída de floema, córtex original e epiderme. Com a formação de mais células de cortiça ou de súber na casca, a epiderme acaba se colapsando e morrendo, pois as células de súber logo morrem e se impermeabilizam para proteger a árvore. A epiderme morre por falta de água, alimento e pelo colapso causado pelo aumento do diâmetro do caule do vegetal em crescimento. A epiderme é substituída pelo periderme, que é formado logo debaixo da casca externa em crescimento no vegetal. Quando a parte externa dessa casca externa morta se esfolia e cai ao solo, o periderme é exposto e passa a atuar como um tecido de proteção, uma nova "capa de pele", até mesmo parecido à epiderme.

Quando cai o ritidoma, fica em geral exposto exatamente o periderme. Se nós cuidadosamente rasparmos esse periderme, veremos que é um tecido vivo e ativo. Em caules maduros, a casca é composta resumidamente de floema, periderme e córtex ou súber. Excepcionalmente, a epiderme pode continuar viva por muitos anos, cobrindo a casca viva da árvore. Isso só acontece quando a casca externa da árvore não morre. A epiderme nesse caso precisa acompanhar o crescimento do diâmetro e se dividir para não colapsar. Entretanto, isso é raríssimo. O que acontece na verdade, é que conforme a planta fica mais velha, seu caule cresce em diâmetro e esse crescimento força a expansão e rompimento da casca se ela não conseguir acompanhar esse crescimento.

O crescimento do diâmetro é devido à atividade do câmbio vascular, como já vimos, que forma xilema para dentro e floema para fora. Para evitar que a casca se estoure toda pelo esticamento causado pelo alargamento de seu diâmetro, novos tecidos precisam ser adicionados à casca. O câmbio vascular cria novas camadas de células de xilema secundário (alburno) para dentro e de células de floema secundário para fora. Por essa razão, as mais recentemente formadas camadas de células da casca viva estão na sua parte mais interna.

Conforme a árvore fica mais velha, novas células de floema são adicionadas e parte das antigas células de floema se tornam não funcionais, colapsam e morrem. Entretanto, pouco antes de morrer, algumas dessas células vivas de floema recuperam atividade meristemática, formando um novo tipo de câmbio denominado felogênio. Conforme esse novo câmbio começa a se dividir, formam-se preferencialmente células para o lado de fora, que são as células de súber ou felema. Algumas camadas menos abundantes se formam para o lado de dentro, são as células do feloderme. Esses três tipos de células, denominadas felogênio, feloderme e felema constituem o periderme. As células derivadas do felogênio não são fibrosas, estão algo intermediárias às células de parênquima e células fibrosas. Tipicamente, são células retangulares e achatadas na região transversal.

Os felogênios aparecem de modificações de células vivas na casca interna. Elas adquirem de novo a capacidade de se dividirem para promover o crescimento da casca em diâmetro e em circunferência. Os felogênios, conforme se dividem, originam os peridermes. Esses peridermes se originam de forma errática. Eles não aparecem em toda a circunferência da árvore. Por essa razão, que se estabelecem regiões mais frágeis que permitem o desprendimento irregular do ritidoma, também de forma errática. Essa sobreposição de células vivas e mortas (floema, felema, felogênio, feloderme, células de súber, etc.) acaba criando zonas frágeis na casca. Por isso, acabam-se desprendendo zonas de casca morta externa na forma de casca que se solta e se esfolia, dando essa particularidade a muitos dos eucaliptos. Na separação e queda do ritidoma, as camadas ativas de periderme acabam sendo expostas de novo na superfície da casca.

No floema, a seiva é transportada pelos tubos crivados, que são elementos similares aos vasos do xilema. Somente as camadas de células mais jovens da casca interna é que possuem tubos crivados ativos, para transportar a seiva elaborada. Quando novas células de floema são produzidas pelo câmbio vascular, os tubos crivados mais velhos se tornam não funcionais, se impregnam com químicos e se

colapsam também. O colapso é resultado das pressões feitas pelas novas camadas de células sendo formadas nas partes mais internas da casca, tanto pelo câmbio vascular, como pelo felogênio.

Os peridermes (felogênio e suas células derivadas) são novas camadas de células que aparecem de forma errática, como já visto. Eles não são tão bem distribuídos na forma de um anel ao longo de toda a circunferência, como é o câmbio vascular. Os peridermes têm a função de promover uma acomodação no crescimento lateral da casca em relação ao crescimento do diâmetro da árvore. Ao mesmo tempo que os peridermes promovem a geração de novas células, elas passam a receber uma substância repelente à água, chamada de suberina. Com isso, a casca externa vai-se tornando resistente à penetração da água.

A suberina é na verdade um grupo de substâncias complexas constituídas de ácidos graxos e de ceras. Ela evita que a árvore perca água através da casca e evita a troca de gases entre a árvore e o ambiente. As células que logo morrem devido à ação da suberina são as nossas conhecidas células de súber ou de córtex.

O súber dá também uma proteção de isolamento térmico à árvore, evitando que a árvore morra em casos de incêndios florestais, onde a casca externa evita o dano ao câmbio e ao floema. O súber é muito difícil de ser digerido, tem gosto ruim e não é atrativo a insetos, herbívoros e fungos. Entretanto, em condições de muita umidade, algumas espécies de fungos e líquenes acabam se adaptando a viver sobre a casca das árvores.

A casca pode também mostrar pequenos poros para permitir trocas gasosas do caule vivo com o meio ambiente. São as lenticelas, ou estômatos do caule. São pouco comuns em eucaliptos, aparecendo em árvores de idades mais jovens.

Olhando-se ao microscópio, as diferentes regiões da casca são muito diferentes. A casca interna pode-se considerar como uma continuação do xilema, pelas semelhanças morfológicas das suas células.

Já a casca externa tem aspecto muito distinto e particular, lembrando muito um material morto, inerte e poroso, devido à presença de grandes proporções de suber. Existem áreas regulares e não colapsadas que se mesclam com regiões totalmente colapsadas e irregulares. O colapso causa distorções nos tubos crivados, nas células de parênquima radial e axial. Mesmo os esclereídeos mostram aspecto colapsado devido às enormes pressões a que estão submetidos.

Os elementos de tubos crivados são muito importantes na casca, pelas suas características de tecidos vasculares. Eles correspondem aos

elementos de vaso do xilema em forma e função: transporte de seivas líquidas. Eles possuem a função de condução por apenas uma estação de crescimento. Quando eles perdem essa função, eles morrem e se colapsam.

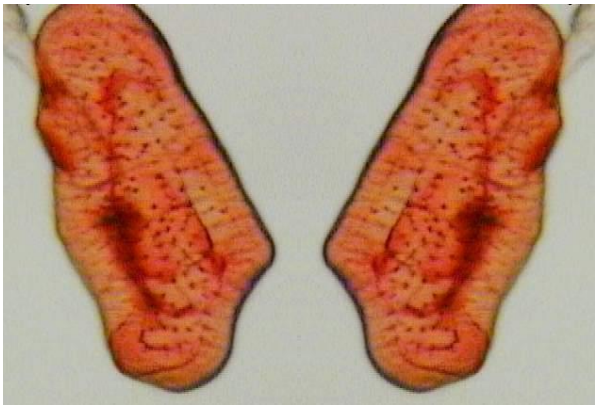
Os parênquimas do floema possuem também duas funções: transporte lateral e armazenamento de químicos (compostos energéticos, compostos tóxicos e irritativos, etc.).

As fibras do floema podem ocorrer em feixes ou bem distribuídas na área da casca interna. Suas funções estão ligadas ao fortalecimento da matriz estrutural da casca. Elas são também de paredes espessas e ricas em lignina.

Fibras individualizadas da casca de eucalipto

Um outro tipo de células bem lignificadas e de paredes bastante espessas e que existe em algumas cascas de árvores são os conhecidos esclereídeos ou células pétreas ("stone cells"). Elas são o resultado de modificações em células do raio medular ou do parênquima axial. Os esclereídeos são células bastante rígidas, de parede bem espessa e altamente lignificadas. São por essa razão chamados de células pétreas. Às vezes, essas células possuem a impregná-la alguma substância de cheiro e sabor desagradável. As árvores de eucalipto fazem esse tipo de célula para tornar a casca pouco apetitosa para insetos, herbívoros e outros animais.

Essas células se transformam em pontos de contaminação nas polpas de celulose, pois se não são removidas pela depuração, podem causar defeitos tipo "olho de peixe" nos papéis calandrados.



Esclereídeos – quando presentes, trazem problemas no uso da celulose

As bolsas de resina ou de goma ("kino pockets") aparecem nas cascas como resultantes de injúrias traumáticas nas mesmas, mas elas podem ocorrer também em condições normais, conforme a espécie. As cascas de algumas espécies de *Corymbia* ou mesmo de *Eucalyptus* podem estar associadas à presença e exudação de resinas ou gomas de coloração vermelha ou marrom. As células que originam bolsas de goma são células de parênquima, produzidas pelo câmbio vascular. Antes do espessamento da parede celular e da sua lignificação, essas células passam por uma atividade meristemática complementar e formam bolsas onde se colocam as gomas e extrativos que elas produzem na casca.

Em algumas espécies, como *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus paniculata*, os canais e bolsas de goma são abundantes na casca. Em outras espécies, como *E.grandis* e *E.saligna*, a presença de extrativos em cavidades da casca ("kino pockets") são também observados com alguma freqüência, mas não são tão evidentes, pois os fenômenos de exudação são menos frequentes.

Casca de *Corymbia citriodora* exudando goma ou resina

A intensa presença de minerais na casca pode ser resultado de muitas células de parênquima contendo cristais de oxalato e carbonatos de cálcio e magnésio. Esses cristais são armazenados pela planta para uso posterior, mas eles também são úteis para prejudicar a palatabilidade e digestabilidade da casca.

Uma casca típica de *Eucalyptus* pode conter cerca de 35 a 55% de elementos fibrosos (fibras de floema e tubos crivados), 45 a 65% de parênquima, suber, raios e esclereídeos.

A avaliação anatômica de polpas de casca de eucalipto tem mostrado algumas características importantes, como sua alta população fibrosa (mais de 20 milhões de "fibras" ou fragmentos de fibras por grama de polpa) e baixo coarseness (cerca de 4 a 5 mg/100 metros). As fibras medidas inteiras mostram-se mais longas que as fibras da madeira, em média cerca de 20% mais longas. A espessura da parede celular varia entre 2,5 a 5 micrômetros.

Algumas dimensões relatadas para elementos anatômicos de cascas de eucaliptos estão mostradas a seguir:

- Elementos de tubos crivados: diâmetros de 25 a 150 micrômetros, e presentes em cerca de 30 a 60/mm² por seção transversal de casca.

- Fibras do floema: 0,7 a 1,2 mm de comprimento, cerca de 10 a 20 micrômetros de largura, espessura da parede celular de 2 a 6 micrômetros.

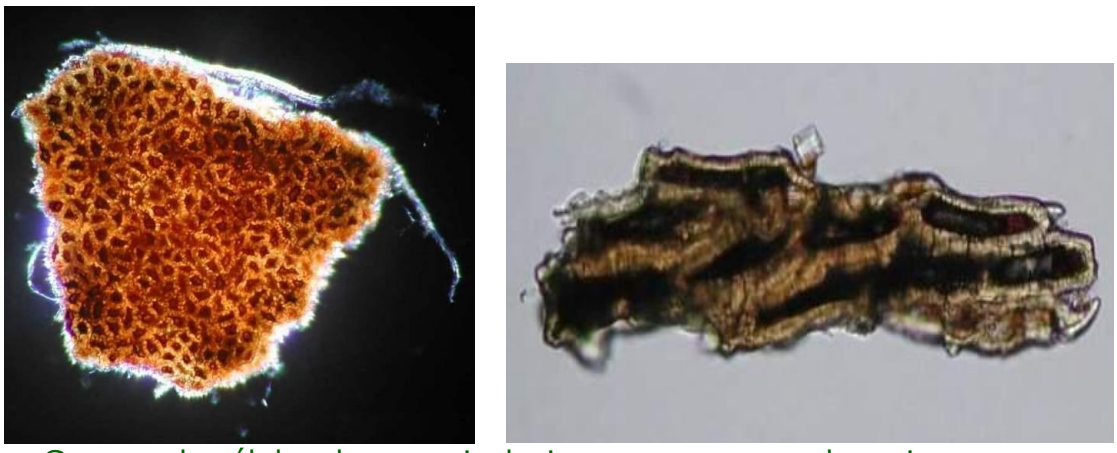
- Células de parênquima axial: 20 a 50 micrômetros de altura e 10 a 25 de largura;

- Células de raios medulares: 10 a 20 raios por milímetro no corte tangencial e altura de 60 a 250 micrômetros;

- Esclereídeos: células com mais de 6 micrômetros de espessura da parede celular, sendo algo irregulares em forma, mas que lembram uma célula de parênquima, mas com altíssima espessura de parede. Os esclereídeos podem mostrar muitas pontuações, pois se derivam de células de parênquima.

Os elementos anatômicos da casca e que possuem interesse papeleiro são: fibras do floema, felema, esclereídeos (quando bem individualizados), células crivadas e tubos crivados. Existe uma grande diferença em espessura da parede celular entre os esclereídeos/felema e entre as células crivadas/tubos crivados. Os elementos mais desejados são as fibras de floema, que são similares às fibras de xilema, até mesmo mais longas. Entretanto, feixes de fibras de floema são também problemáticos e trazem dificuldades na fabricação do papel. As células crivadas e os tubos crivados têm paredes finas e são facilmente colapsados e arrebentados nas operações de refinação da polpa. Juntamente com as células de parênquima e células de súber, colaboram para aumentar o teor de finos da polpa. Com isso, ajudam a entupir feltros e prejudicam a drenagem, principalmente quando o fechamento dos circuitos de água é mais acentuado nas fábricas. Polpas não refinadas de casca chegam a possuir mais de 20% de finos. Há situações, conforme o tipo de casca, que esse percentual pode ser bastante alto.

Seria possível nesses casos chamar a isso de polpa celulósica? Uma das mais imediatas conseqüências é a dificuldade de drenagem da massa na máquina e a pior consolidação da folha. O grau de drenabilidade também é afetado, indicando um falso refino (aumenta o grau Schopper Riegler mais devido aos finos e menos devido a refinação das fibras). A resistência a úmido das folhas cai e as quebras de folha se tornam freqüentes.



Grumos de células de casca inclusive com presença de resinas
(Fotos cedidas por Econotech / Canadá)

Química e física da casca dos eucaliptos

As cascas se contituem em componentes menos densos do que as correspondentes madeiras em praticamente todas as espécies de eucaliptos. A densidade básica da casca costuma variar entre 0,28 a 0,38 t a.s./m³ sólido de casca verde saturada, enquanto as madeiras de eucaliptos mais utilizadas na fabricação de celulose para papel e derivados de celulose possuem as densidades básicas variando entre 0,42 t a.s./m³ (exemplo: *E.grandis*) até 0,58 t a.s./m³ (exemplo: *E.globulus*).

As cascas das árvores dos eucaliptos também se constituem em armazéns de inúmeros produtos químicos, como açúcares, ceras, pectinas, álcoois, óleos, flavonóides, gomas, resinas, suberina, celulose, hemiceluloses, lignina, minerais, etc. Entretanto, para fins de produção de celulose e papel, a preocupação é sempre voltada para os teores dos componentes estruturais como celulose, hemiceluloses, lignina, cinzas e compostos extrativos ou solubilizados por água, soda ou solventes orgânicos.

Os minerais que são muito abundantes nas cascas, às vezes sequer são avaliados em suas quantidades, pelo desconhecimento dos técnicos sobre o tema.

As cascas não são matérias primas fibrosas muito adequadas para se fabricar polpa celulósica, pois já vimos que o conteúdo em elementos que se assemelham a fibras não é muito alto. Existe na verdade muito mais células pequenas e células de parênquima, denominadas genericamente de finos, do que reais fibras.

Além disso, esses elementos alongados são em geral mais fracos pois têm paredes finas, fracas e muitas vezes deformadas. Algumas de suas células, como os esclereídeos, chegam a ser contaminantes ao processo de fabricação do papel, pois se não são descartados pelos hidrociclones, podem acabar por trazer imperfeições às folhas de alguns tipos de papéis. O teor de elementos de tubos crivados, correspondentes aos elementos de vasos das madeiras, também é elevado.

Quimicamente as cascas se diferenciam das madeiras principalmente pelos teores de extrativos e de minerais.

Os extrativos ocorrem em teores elevados, tanto os materiais solubilizados pela água, como pela soda cáustica e pelos solventes orgânicos. Esses compostos ou são açúcares facilmente solúveis e hidrolisáveis, ou são compostos de impregnação, ou são sais minerais capazes também de serem dissolvidos por água quente. Os extrativos

em água quente nas cascas de espécies comerciais de eucaliptos varia entre 5 a 20%. A maioria está presente na casca interna, rica em seiva elaborada, praticamente compostos já solubilizados em água. As diferenças encontradas são muito grandes, pois dependem da forma como foi a casca amostrada, da relação entre casca interna e externa, e da situação fisiológica da árvore.

Quando a casca é fresca, recém retirada da árvore, ela tem dificuldades em liberar material extraível em água. Entretanto, quando ela é secada e depois submetida à extração, muito maior quantidade de material se dissolve em água. Como a preparação da casca para análises implica em se secar e depois moer a casca, os teores de extrativos em água são sempre aumentados devido a essa forma de preparação. A razão para essa diferença é que a secagem destroi membranas semi-permeáveis que envolvem os conteúdos celulares. Com isso, o "leaching" fica favorecido.

Os lixiviados de casca são muito ricos em DQO (Demanda Química de Oxigênio) e DBO (Demanda Biológica ou Bioquímica de Oxigênio). Esses valores extraídos da casca em termos de DQO variam de 0,15 a 0,40 gramas de DQO por grama de casca seca. Há também contribuição elevada da DBO, que eqüivale para a casca em cerca de 20 a 30% da DQO. Isso indica certa facilidade de decomposição de muitos compostos dos lixiviados, apesar da toxicidade de muitos compostos presentes nas cascas. O lixiviado obtido das cascas é rico tanto em compostos orgânicos, como em compostos minerais inorgânicos. Sódio, potássio e fósforo são facilmente lixiviáveis, enquanto cálcio e nitrogênio são mais difíceis. Por essa razão, os lixiviados de casca apresentam alta relação C/N (carbono/nitrogênio). Os pHs dos lixiviados de casca são baixos, dependem do estágio de decomposição da casca, mas em geral variam de 4,0 a 5,5. Sob condições anaeróbias, o pH do lixiviado pode ser inclusive menor ainda. A concentração dos lixiviados dependerá da relação de água pela matéria seca, do tempo de exposição à água, da temperatura da água e das características da casca em questão.

Existem fábricas de celulose que fazem uma aspersão de água sobre as toras ou sobre as pilhas de cavacos. O lixiviado será tanto mais concentrado, quanto maior for a presença de cascas nos cavacos ou toras.

Os extrativos em solventes orgânicos variam entre 2 a 10%, dependendo do tipo de solvente empregado. Valores mais altos são

conseguidos em soluções contendo álcool. Como a maioria dos laboratórios costumam realizar análises com diclorometano, os valores de extrativos acabam inocentemente baixos, o que é uma irrealidade típica do solvente empregado, que extrai pouco material das cascas. Os resultados em DCM mostram –se entre 0,8 a 2,0%, muito mais baixos que os resultados para extrativos em álcool/tolueno ou álcool/benzeno.

No que diz respeito aos extrativos de natureza lipofílica, a casca interna e externa se diferenciam bastante. Em ambos os casos, os teores de extrativos são maiores que os encontrados nas madeiras correspondentes. Logo, o teor de casca que acompanha os cavacos pode ajudar a maximizar os problemas de *pitch* nas polpas e no processo. A casca interna possui em sua composição diversos tipos de ácidos graxos que são comuns no xilema (beta-sitosterol, ácidos palmítico, oleico e linoleico). A casca externa possui mais ácidos triterpênicos do tipo betulínico, ursólico e oleanólico.

A solubilização da casca em soda cáustica a 1% também é elevada (entre 20 a 35%), cerca de mais que o dobro mostrado pelas madeiras do gênero.

Como conseqüência dessas altas proporções de extrativos, as quantidades de carboidratos acabam sendo baixas: celulose Cross & Bevan (40 a 45%), pentosanas (12 a 18%). Dentre os carboidratos monoméricos, a glucose é a mais abundante (aproximadamente 70 a 75% do total dos carboidratos), seguindo-se a xilose (20 a 30%) e a arabinose (2,5 a 5%). Grupos acetil representam 2,5 a 3,5% e ácidos urônicos de 3 a 4% do peso da casca.

As determinações de lignina encontradas na literatura são quase sempre feitas pelo método Klason (lignina insolúvel em ácido e base de material isento de extrativos). Como a maioria dos laboratórios não faz a parte solúvel em ácido da lignina e tampouco faz a correção da lignina frente ao teor de cinzas e extrativos presentes na mesma, os resultados acabam prejudicados triplamente.

Um fator a prejudicar os resultados é que muitos analistas acabam realizando o teste de lignina em material que não foi previamente extraído para que a ensaio seja realizado em material isento de extrativos como preconizado. Com isso, mais um ponto de

discrepância é introduzido.

Os teores reportados de lignina Klason para cascas de eucaliptos variam entre 12 a 20%, até mesmo pelas imperfeições analíticas previamente mencionadas, o que acaba comprometendo os resultados.

Há também muita confusão científica no que se refere à "lignina da casca". Isso porque na casca existem muitos compostos fenólicos e até mesmo a suberina, que se confundem com a lignina nos ensaios convencionais. Há consenso entre os autores que os teores de lignina nas cascas são inferiores aos de lignina nas madeiras da mesma árvore. Além disso, a lignina da casca é estruturalmente diferente da lignina da madeira, principalmente pelo menor teor de grupamentos metoxílicos. É reconhecido que a lignina da casca obtida pelos métodos convencionais, é na verdade uma mistura de diversas substâncias aromáticas, próximas à lignina em alguns casos.

Outra grande riqueza das cascas é seu teor de sais minerais. O teor de cinzas da casca é bastante alto. Isso porque a planta acumula minerais na forma de cristais nas células de parênquima, ou os está translocando livres ou adsorvidos na composição de constituintes da seiva orgânica. Recentemente, com a cada vez maior conscientização para os problemas de exaustão dos solos pela exportação de nutrientes pela madeira e casca, esse fato passou a ser mais avaliado pelos cientistas e técnicos. A casca é riquíssima em minerais. Cerca de 3 a 8% de seu peso consiste de minerais, que acabam sendo medidos como cinzas.

Em função desses altos teores de íons minerais, uma enorme quantidade de minerais é então exportado pelas retiradas de casca das florestas de eucaliptos. Estamos aqui falando apenas dos minerais presentes na composição química das cascas. Há ainda minerais exportados na forma de solo ou terra aderidos à casca das toras, o que colabora ainda mais para o empobrecimento dos solos. O solo que se perde é exatamente o solo mais superficial da floresta, aquele rico em nutrientes em processo de ciclagem dos mesmos.

É exatamente nesse solo superficial que algumas toneladas de raízes finas por hectare de florestas de eucaliptos buscam seus minerais para a nutrição das árvores do povoamento.

Para fins de se calcular a quantidade de elementos minerais presentes na casca de árvores comerciais de *Eucalyptus*, vamos simular uma situação prática de um povoamento clonal de *E.saligna*, com um incremento médio anual de 45 m³/hectare.ano de toras comerciais com

casca.

Esse povoamento aos 7 anos dará uma produção de 315 m³ de madeira mais casca por hectare. Se a proporção volumétrica de casca for de 12%, a distribuição entre casca e madeira no abate das árvores será de 37,8 m³ de casca e 277,2 m³ de madeira comercial. Admita-se agora que a densidade básica da casca tenha sido 0,35 g/cm³ e da madeira de 0,50 g/cm³. A proporção em peso de casca passará a ser de 8,7% e da madeira de 91,3%.

Vale a pena mostrar, exatamente nesse momento, como se conseguem esses resultados percentuais em base volume e peso.

Em geral, o que se mede normalmente é o percentual de casca no tronco comercial da árvore. Essa determinação é simples e se baseia na própria cubagem das árvores, usando diâmetros de seções de comprimentos conhecidos do tronco em diferentes alturas. Existem diversas fórmulas empregadas na cubagem das árvores, sendo as mais conhecidas as de Smalian, Huber, Newton, etc.

Em geral, obtem-se o volume do tronco comercial da árvore com casca e depois o volume sem casca, seguindo exatamente o mesmo procedimento de cálculo, só modificando os diâmetros (com e sem casca). O volume de casca sai pela diferença entre o volume do tronco com casca e o correspondente volume sem casca.

A proporção volumétrica entre casca e tora do tronco se obtem percentualmente pela relação do volume de casca pelo volume total do tronco com casca.

Caso a proporção encontrada de casca seja de 12% base volume para o tronco comercial da árvore em pé (situação de árvore viva e com seus tecidos verdes e saturados em água), como enunciado para a floresta que está sendo avaliada nessa situação em questão, tem-se que:

- A cada 100 umidades de volume de tronco comercial verde teremos 12 unidades de volume de casca e 88 de madeira.
- É possível se converter essa proporção de volume verde para peso seco, desde que se disponham das densidades básicas da madeira e da casca. No presente caso: Densidade básica da madeira = 0,50 t a.s./m³ verde; Densidade básica da casca = 0,35 t a.s./m³ verde.
- Considerem-se nesse caso as unidades de volume como sendo de metros cúbicos, como poderia ser qualquer outra unidade.

Tem-se então: 100 m³ tronco = (12 m³ casca) + (88 m³ madeira)

Db casca = 0,35 t a.s./m³

Db madeira = 0,50 t a.s./m³

Em peso:

(12 m³ casca) . 0,35 t a.s./m³ = 4,2 t a.s. casca

(88 m³ madeira) . 0,50 t a.s./m³ = 44 t a.s. madeira

ou

(4,2 t a.s. casca) + (44 t a.s. madeira) = 48,2 t a.s. totais

Percentual em peso de casca = [(4,2 t a.s.)/(48,2 t a.s.)] . 100

Percentual em peso de casca = 8,7%

Percentual em peso de madeira = [(44 t a.s.)/(48,2 t a.s.)] . 100

Percentual em peso de casca = 91,3%

Os percentuais em peso e volume de casca se modificam com a secagem e manuseio das toras. Isso porque existe tanto contração diferenciada entre a madeira e casca, bem como ocorre a perda de peso principalmente de casca, que acontece pelo desprendimento da mesma das toras e pela ação de atrito entre as toras com casca, uma contra a outra, o que resulta em uma espécie de ralação da casca externa e morta das capas de casca das toras.

Voltando agora ao diálogo que estávamos tendo em relação ao peso seco de toras de tronco de um povoamento de 7 anos de eucalipto. Lembrem-se que se tinha o seguinte, conforme enunciado anteriormente:

Esse povoamento aos 7 anos tem uma produção de 315 m³ de madeira mais casca por hectare. Se a proporção volumétrica de casca for de 12%, a distribuição entre casca e madeira no abate das árvores será de 37,8 m³ de casca e 277,2 m³ de madeira comercial. Admita-se agora que a densidade básica da casca tenha sido 0,35 g/cm³ e da

madeira de 0,50 g/cm³. A proporção em peso de casca passará a ser de 8,7% e da madeira de 91,3%.

...COMO FOI POUCO ANTES CALCULADO E COMPROVADO

Ao se produzirem 37,8 m³ de cascas por hectare aos 7 anos, teremos um peso seco correspondente de 13,2 toneladas absolutamente secas de casca. Sendo o teor de cinzas, método analítico de determinação, na casca encontrado como sendo de 6,5%, teremos uma presença de 0,86 toneladas de cinzas nas cascas dessas árvores colhidas em um hectare de florestas.

Admitindo-se que o teor de cinzas médio na madeira de *E.saligna* seja de 0,35% base peso seco, teremos uma quantidade de cinzas na madeira total extraída do povoamento correspondente a 0,49 toneladas secas de cinzas. Significa que teremos muito mais cinzas exportadas pelas cascas do que pela madeira, se ambas forem retiradas durante a colheita florestal.

Teores de cinzas superiores a 0,5% nas madeiras são encontrados para algumas espécies de *Eucalyptus*, como *E.globulus* e *E.dunnii*, que são mais acumuladoras de minerais do que *E.saligna* e *E.grandis*. Mesmo que o teor de cinzas na madeira atingisse 0,6%, a quantidade de cinzas minerais extraídas pela madeira ainda seria praticamente a mesma da extraída pela casca.

Em resumo, a quantidade de cinzas extraídas do solo junto com a casca das árvores é significativa e na maioria das vezes ligeiramente maior do que é extraído e exportado pela madeira do mesmo povoamento.

Uma amostra de casca de tronco desse *E.saligna*, mostrou os seguintes teores de nutrientes passíveis de serem exportados, quando as suas cinzas foram analisadas em laboratório:

Nutriente nas cascas	gramas do nutriente/kg cinzas secas	kg de nutriente extraído por hectare nas cascas	Teor de minerais base casca seca (%)
Cálcio	315	271	2,05
Potássio	40	34,5	0,26
Magnésio	25	21,5	0,16
Manganês	24	21,1	0,15
Nitrogênio	23,5	20,9	0,15
Sódio	8	6,9	0,05
Fósforo	6	5,1	0,039
Enxofre	3	2,6	0,0198
Ferro	2	1,7	0,0130
Alumínio	1	0,84	0,0065
Silício	0,5	0,43	0,0032
Boro	0,180	0,15	0,0012
Cobre	0,030	0,026	0,00019
Molibdênio	0,004	0,004	0,00003
Total de íons minerais	448,2 g/kg	387 kg íons minerais/hectare	
Total de cinzas	1000 gramas (amostra) A diferença deve ser oxigênio, hidrogênio, carbono e outros íons não analisados	863 kg cinzas/hectare	

Resumo para o povoamento clonal de *E.saligna* plantado na região de Guaíba-RS / Brasil, com 7 anos de idade:

- Volume total de madeira colhida: 277,2 m³ / hectare
- Volume total de casca nas toras colhidas: 37,8 m³/hectare
- Peso total de madeira colhida: 138,6 toneladas secas/hectare
- Peso total de casca colhida: 13,2 toneladas secas/hectare
- Peso total de cinzas na madeira colhida: 0,49 toneladas/hectare
- Peso total de cinzas nas cascas das toras: 0,86 toneladas/hectare

A grande riqueza mineral das cascas de eucalipto é o seu conteúdo em cálcio (macronutriente). Também são importantes os teores de potássio, magnésio e do micronutriente manganês. Esses conteúdos em minerais merecem ser administrados para a sustentabilidade futura do sítio florestal. Exportá-los via retirada pura e simples, sem reposição significará o empobrecimento gradual do solo e prejuízos para as futuras produtividades das florestas em gerações subsequentes.

Produção de celulose de toras de eucalipto com casca

Pelas próprias características anatômicas e químicas da casca, a sua presença definitivamente afeta a qualidade da celulose e sua performance na fabricação do papel. Deve-se portanto entender muito bem essas relações, quais as quantidades de cascas toleráveis, quais os tipos de casca estão chegando na fábrica de celulose junto com a madeira, qual a proporção de casca nos cavacos, nas toras e nas árvores, quais as origens e tipos de madeiras, etc.

Para facilitar esses entendimentos, estão apresentadas diversas considerações nessa seção, em que se discutem vantagens e desvantagens de uso de toras contendo casca na fabricação de celulose, mais especificamente celulose kraft branqueada de eucaliptos.

A casca dos troncos de eucalipto na fabricação de celulose e papel

Existem muitos artigos disponíveis na literatura técnica mundial sobre a influência da casca na qualidade e produtividade de fábricas de celulose kraft. Eles existem para diversas espécies de madeira, tanto para coníferas como folhosas, entre as quais os eucaliptos.

Há também muitas comunicações técnicas industriais e debates sobre os problemas causados pela casca nas fábricas de celulose e nas qualidades da celulose e do papel. O assunto é definitivamente quente e continuará sendo, pois não está e nem será resolvido tão cedo.

Além disso, há alternâncias de modismos: há momentos em que picar madeira com casca e utilizá-la no cozimento é o máximo da inteligência; há outros em que separá-la e queimá-la é o mais moderno. Ainda mais que as cascas se queimam com facilidade em função de sua porosidade (e consequente acesso ao oxigênio comburente) e teor de umidade usualmente baixo, após secagem das toras no campo.

Há também o debate sobre o conceito com foco na sustentabilidade, que prega a remoção do tronco sem casca e conservação da casca no próprio talhão florestal sendo colhido, para melhorar o solo, o sítio florestal e a sustentabilidade.

Como será isso tudo daqui há 10 anos? Se faltar madeira, será ela novamente olhada como fonte de fibras, mesmo que de segunda categoria? Se faltar energia, ela virará o combustível verde e renovável preferido? Se descobrirem químicos valiosos na casca, será que ela virará matéria-prima para abastecer a indústria química em outra cadeia produtiva junto às biorrefinarias?

Enfim, o assunto é inesgotável porque a casca está aí: volumosa, presente, gerando oportunidades ou se convertendo em resíduos e despesas. Não há como fugir do problema, ou da oportunidade.

A situação mais comum é a maior remoção possível da casca das toras nas fábricas de celulose. A casca deve então estar presente em quantidades mínimas nos cavacos de madeira. Em geral, as fábricas de celulose e suas linhas de fibras são afetadas em desempenho e qualidade de produtos fabricados se o teor de casca for maior do que 1% base peso seco de cavacos.

Existem dois tipos de gestão para a casca, embora possa existir algo intermediário entre os dois sistemas:

- As toras das árvores são descascadas (e/ou picadas) na floresta e toras ou cavacos são enviados para uso nas fábricas de celulose. Os fragmentos da casca separada na floresta são espalhados

sobre o solo florestal, colaborando para os processos de ciclagem de nutrientes, proteção do solo e da biota do solo, etc.

- As toras são enviadas para as fábricas com sua casca e nas fábricas se processa o descascamento, com a finalidade de separar o máximo de madeira para o processo de fabricação de celulose. As cascas fragmentadas removidas são utilizadas como biocombustível sólido nas caldeiras de biomassa. Com a introdução do conceito das biorrefinarias, é bem possível que essa casca tenha outros destinos de maior agregação de valor.
- O sistema híbrido implica em se descascar na floresta uma parte das toras. Outra e exata parte das toras, nas quantidades necessárias de casca para a caldeira de força, é obtida pelo descascamento das toras na área da fábrica. Ou seja, com esse procedimento tenta se evitar que os resíduos de casca (sobras pelo não uso) se acumulem nas fábricas. Ao mesmo tempo, melhora-se o balanço de nutrientes dos solos em áreas onde as necessidades de melhoria da fertilidade do solo sejam mais evidenciadas. Sobras de casca nas fábricas são bastante problemáticas, pois acabam se convertendo em um resíduo ativo, que se molha, suja e fermenta com facilidade, tendo baixo valor comercial e alto custo de disposição.

Fábricas de celulose costumam usar toras recebidas com ou sem casca. Entretanto, sempre existe entrada de casca nos processos industriais das fábricas, pois os sistemas de descascamento nas fábricas e nas florestas apresentam entre 80 a 95% de eficiência de remoção de casca.

Existem nas fábricas quatro pontos de acumulação e de perda de cascas:

- Pátio de toras, como sujeira ou resíduos desprendidos das toras e que se acumulam no chão e sobre as pilhas de toras;
- Setor de descascamento de toras;
- Setor de lavagem de toras;
- Setor de classificação dos cavacos, onde parte do peso que se perde como biomassa energética (em geral) são cavacos de casca e madeira desprezados pelo processo de fabricação de celulose.

Com a finalidade de oferecer maior informação sobre a geração e utilização das cascas em unidades fabris na indústria de base florestal, recomendo a leitura de mais dois dos capítulos do Eucalyptus Online Book, a saber:

Casca da árvore do eucalipto: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando à produção de celulose e papel. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 01. 109 pp. (2005)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf

Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto. Parte 04: "Casca Suja". C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 21. 100 pp. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT21_CascaSuja.pdf

Toras de madeira de eucalipto de fábrica de celulose com elevado teor de casca como contaminante

Casca – Resíduo perdido ou matéria-prima não aproveitada?

A casca suja das fábricas de celulose em geral contém "madeira perdida como contaminante", em valores variando entre 5 até 20% do peso seco do resíduo.

A casca energética sempre contém alguma proporção de fragmentos de madeira (cavacos, toretes, lascas, etc.)

As cascas oferecem poucas vantagens se misturadas em alta proporção aos cavacos de madeira para ser enviada à polpação. Por outro lado, são inúmeras as interferências da casca no processo produtivo de celulose e papel. Todos reconhecem as dificuldades de seu

uso e algumas de suas poucas vantagens, mas o que se nota é que ainda se necessitam de muitos mais estudos. Na verdade, existe talvez uma falta de competência ou de visão mais ampla para uma real quantificação dos pontos positivos e negativos da casca, tanto em termos econômicos como ambientais.

Dentre as vantagens de realização da polpação kraft com cavacos produzidos de toras de troncos integrais sem descascamento algum (ou então parcial de parte das toras) costumam serem citadas as seguintes:

- Disponibilização de quantidades adicionais de fibras a baixo custo, sendo uma opção válida para fábricas com limitações de suprimento de madeira. Como a madeira ou matéria-prima fibrosa representa o maior custo desse processo de fabricação, podem existir algumas situações onde se justifique o aumento do teor de casca junto com a madeira, em especial para situações onde o tipo de papel sendo fabricado não fique comprometido pela casca na polpação.

- Menor necessidade de áreas plantadas, visto que a oferta de fibras por hectare seria maior;

- Eliminação da operação de descascamento, ou na floresta ou na própria fábrica de celulose;

- Ligeiro aumento do poder calorífico do licor preto forte, em função da maior dissolução de compostos orgânicos durante a polpação kraft da casca;

- Menor perda de madeira, que geralmente acontece nas operações de descascamento seja nas florestas como nas fábricas de celulose;

- Eliminação da geração do resíduo casca suja, tão problemático e oneroso para as fábricas de celulose. É fato conhecido que as toras de madeira com casca se contaminam nas operações da colheita florestal com solo, pedras, serapilheira, etc. Como a casca representa a "pele da árvore", as toras ao serem arrastadas ou depositadas sobre o solo acabam se sujando, levando essas

impurezas adicionais para as fábricas.

Entretanto, a operação de polpação de madeiras com casca tem muito mais inconvenientes do que vantagens. Como regra geral, não existe fábrica alguma de celulose que entregue ao digestor um cavaco de madeira totalmente isento de casca para se efetuar a polpação. As fábricas de celulose kraft até que toleram até um máximo de 1 a 1,5% de casca na alimentação do digestor base peso seco de cavacos.

Em algumas situações particulares, uma fábrica pode eventualmente aceitar receber uma certa proporção de toras com casca (em geral toras finas), pois tem carência em suas suprimentos de madeira.

Em geral, os valores mais comuns para teor de casca nos cavacos de madeira são para 0,4 a 0,6% base peso seco para as modernas linhas de fibra, com melhores instalações de preparação dos cavacos. Mesmo nessas condições de ótimo, as cascas podem afetar as sofisticadas instalações de produção de celulose, pois elas exigem regularidade na matéria-prima, dimensões e umidades uniformes de cavacos, etc.

Esses teores de casca, conforme crescem, prejudicam a qualidade da celulose sendo produzida, os consumos de químicos na polpação (álcali ativo e efetivo) e no branqueamento (equivalente de cloro ativo total).

Miranda, Gominho e Pereira, em 2012, relatam que para um ensaio com *Eucalyptus globulus*, a utilização de cavacos obtidos a partir de toras com casca e até mesmo incluindo os ponteiros das árvores, conseguia-se aumentar em mais de 25% a oferta de matéria seca de material fibroso para as fábricas de celulose kraft. Apesar das maiores dificuldades e inconvenientes que esses materiais adicionais traziam, não há dúvidas, segundo os autores, que em fábricas com limitação de matéria-prima, isso seria uma justificativa para uso de mais casca, pois pode representar aumento de produção da unidade fabril.

Existem dois tipos de limitações de alimentração de matéria-prima (cavacos) em fábricas de celulose.

Em uma delas, a fábrica tem como limitante a alimentação de cavacos ao digestor. Não consegue então colocar mais volume de cavacos ao digestor. Nesse caso, a inclusão de mais casca junto à madeira nos cavacos é contraindicada, pois a fábrica deverá perder

produção pelo menor rendimento em conversão da casca a celulose.

O outro tipo de limitação está em fábricas que têm capacidade de digestor, mas não possuem disponibilidade de madeira. Esse caso poderia ser o tipo de alternativa para se adicionar mais casca no processo junto aos cavacos, mas em um nível de adição que permita oferecer ganhos e não perdas.

A maior das vantagens nessas situações seria a colocação de material fibroso à disposição para aumentar o suprimento de fibras, se a empresa estiver com escassez de madeira, ou se o preço pago pela madeira estiver alto demais.

Uma vantagem importante da casca, talvez a maior dela no momento, é a de ser utilizada como combustível de baixo custo, mas de baixa qualidade também. Em nosso Eucalyptus Online Book, capítulo 45, discutimos em detalhes o uso energético da casca e de outros resíduos florestais. Aos que se interessarem sobre essa temática, recomendamos a leitura de:

Utilização da biomassa do eucalipto para produção de calor, vapor e eletricidade. Parte 3: *Resíduos florestais energéticos*. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 45. 235 pp. (2016)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT45_Residuos_Florestais_Energeticos.pdf

Independentemente desses diferentes enfoques, o propósito nessa seção é discutir como a casca interfere na produção e qualidade da celulose e papel.

Já vimos no estudo da anatomia da casca, que ela é pobre em fibras e muito rica em parênquima e células de súber: isso em relação à madeira. Vimos na química da casca, que ela é mais pobre em celulose e lignina, mas é rica em extrativos em água e soda e em cinzas minerais. Como conseqüência dessas características, a casca do eucalipto, por si só, é um material que, utilizado isoladamente, conduz a mais baixos rendimentos em celulose (entre 35 a 45%, sendo 35-40% o mais usual para os eucaliptos de casca lisa); demanda muito consumo de químicos no cozimento (álcali ativo entre 25 a 30% como NaOH) e conduz a polpas de baixíssimas alvuras na forma não branqueada (entre 12 a 20%).

Afortunadamente, a polpação da casca resulta em poucos rejeitos grossos, ou seja, sua anatomia e estrutura permite fácil liberação dos componentes anatômicos. Algumas outras desvantagens dos cozimentos kraft de casca pura seriam: dificílimo reduzir o número kappa e

aumentar a alvura da celulose, mesmo com dosagens elevadíssimas de álcali ativo. Se quisermos cozinhar mais a casca para melhorar essas propriedades, acabamos degradando ainda mais essas fibras frágeis e reduzimos muito a viscosidade. Resultado: baixas resistências nas celuloses.

Outra grande desvantagem da polpação de cavacos com muita casca é o aumento do teor de sólidos secos por tonelada de celulose produzida, em função de menores rendimentos da polpação e maiores consumos de álcali para deslignificação e individualização das fibras. Isso é uma desvantagem enorme caso a caldeira de recuperação estiver trabalhando em seu limite de capacidade para sólidos secos.

Acredito, que em função dessas dificuldades e inconvenientes, poucos técnicos estariam considerando cozinhar a casca isoladamente e com ela se produzir celulose branca para papel de qualidade. Até porque celulose de 100% de casca tem-se mostrado quase impossível de ser branqueada a níveis de comercialização adequadas como celulose branqueada. Mesmo para papel escuro, a polpação de casca pura seria inviável pela alta demanda de químicos e pelas baixas resistências oferecidas no papel.

O maior problema da casca está então na contaminação dos cavacos de madeira com a mesma e as conseqüências associadas a isso.

Uma forma pouco explorada para se reduzir o teor de casca é melhorar a seção de produção dos cavacos nas fábricas. Certamente, a primeira coisa seria melhorar o descascamento, que na maioria das vezes tem eficiências entre 80 a 92% de remoção de cascas, podendo ser otimizado pelo controle das operações e da qualidade das toras.

Depois dessa operação e da picagem das toras, as partículas de casca podem ser removidas pelas peneiras de cavacos. Porque? A separação por peneiras é baseada em tamanhos de partículas e em seu formato. A peneira não é tão inteligente para distinguir se a partícula é de casca ou de madeira, ou se são pedras, areia, terra ou serragem. Desde que as partículas não estejam grudadas na madeira, elas têm um mesmo comportamento nas peneiras. Exceto quando estão na forma de fitas, que se enovelam e entopem as peneiras.

Uma vez que a maioria das fábricas não investe muito na área de preparação de cavacos, as peneiras quase sempre estão sobre-carregadas. Isso significa que estão trabalhando mal, às vezes muito mal, mesmo! Com algumas melhorias nas peneiras de cavacos, os finos e as partículas grandes poderiam ser melhores separadas. De forma geral, a maioria das partículas de casca ou são finos ou são “overs” ou rejeitos grandes (pedaços, fitas, cordas, lascas). Se utilizarmos furações maiores para remover os finos (por exemplo, entre 5 a 7 mm), uma

considerável proporção de finos de casca e de serragem de madeira poderá ser extraída. Os finos removidos contêm ainda uma grande porcentagem de areia e de solo. O melhor uso para esses finos pode ser como combustível, porém vale a pena tratá-los para remoção da areia e terra.

A remoção do material de maior tamanho, ou “overs”, é uma tarefa difícil. A razão é que entre os “overs” temos lascas, “cordas de casca”, pedras, pedaços grandes de madeira, etc. A quantidade de “overs" retida pelas peneiras também é função das aberturas das mesmas e do formato das furações. Os pedaços grandes de casca tendem a entupir as furações, devido à sua forma irregular e à sua maleabilidade, já que são materiais que se amoldam facilmente (enrolam-se) às furações e as entopem.

Com esse entupimento causado pelas cascas, os cavacos de madeira se amontoam sobre os colchões formados com casca e acabam sendo rejeitados como cavacos sobre-espessos pelas peneiras, quando na verdade são cavacos perfeitamente normais em sua maior parte.

Cassificação de cavacos e o problema das fitas cascas que acompanham os mesmos

De preferência, essas cordas e pedaços grandes de casca devem ser removidos antes das peneiras que separam os cavacos. Os pedaços de casca entopem as peneiras por causa de seu formato. Por isso, as peneiras necessitam ter desenhos adequados, ou até mesmo uma peneira adicional com buracos maiores para reter as cordas e pedações

de casca e deixar passar os cavacos, mesmo os cavacos grandes, que ficariam para ação de outra peneira mais abaixo. Mesmo com o uso de classificadores especiais, a necessidade de se parar a instalação para limpeza das peneiras é freqüente. Com isso, evitam-se os entupimentos e a passagem direta de cavacos bons sobre ela (peneira "afogada").

Todo esforço na preparação dos cavacos são recompensados, pois o resultado será um cavaco ao digestor mais limpo e com melhor qualidade.

Podemos dividir o tema casca nos cavacos sob dois enfoques:

- Em uma fábrica já existente, tendo seus cavacos continuadamente contaminados com casca e com isso aumentando seus gargalos;

- Em uma fábrica nova, desenhada para incorporar os problemas que a presença de casca traz, mas que necessita das fibras da casca por falta de madeira ou pelo seu alto custo.

Para fábricas existentes, a presença de quantidades significativas de casca nos cavacos ao digestor traz inquestionáveis perdas de produção, a menos que a fábrica tenha muita folga nas seções de alimentação do digestor, branqueamento, caustificação e forno, caldeiras de recuperação, etc. Em resumo, que seja uma fábrica operando abaixo do ritmo ideal ou projetada para esses acréscimos de demanda de insumos químicos devido à casca.

Baseando-se nos conhecimentos acumulados sobre o assunto, sendo que alguns já foram relatados, pode-se afirmar que para polpação kraft de eucaliptos, ocorrem os seguintes fatos relevantes que podem ser definidos como inconvenientes no processo de fabricação pelo uso ou presença maior de casca nos sistemas industriais (em mistura com os cavacos):

- A densidade básica da casca é inferior à da madeira correspondente da árvore, dando assim origem a um material na forma de cavacos mais volumosos (com menor peso seco por unidade de volume). Como as alimentações de cavacos aos digestores são limitadas mais pelos volumes alimentados do que por seus pesos secos, existem

possibilidades de perda de capacidade produtiva pela linha de fibras, conforme se aumenta o teor de casca junto aos cavacos.

- Ocorrem inúmeros tipos de problemas no setor de preparação dos cavacos, pois a casca favorece entupimentos e embuchamentos de transportadores e silos, redução da vida útil das facas dos picadores, aumento das percentagens de finos rejeitados pelas peneiras, necessidade adicional de um picador ou triturador de cascas, etc.

- Ocorrem também problemas na alimentação dos digestores, devido desgastes de equipamentos, presença de terra e areia, menor alimentação de peso seco de material por rotação do alimentador de cavacos do digestor, etc.

- A casca ao entrar no digestor ocupa lugar de cavacos de madeira que dariam maior produção e melhor qualidade. Independentemente de todas as perdas relatadas nos itens anteriores, temos ainda a perda de produção devida ao volume ocupado pela casca nos digestores e que poderiam estar ocupados com cavacos. Como a densidade da casca é menor e seu rendimento em celulose também, para o volume ocupado pela casca teremos uma perda de produção em relação a se esse volume fosse ocupado por cavacos. Isso é ainda mais grave se a fábrica estiver trabalhando em sua máxima alimentação de cavacos ao digestor. A densidade a granel da casca de eucalipto é de 120 a 130 kg absolutamente secos por metro cúbico. Para os cavacos, essa mesma densidade é de 165 a 175 kg a.s./m³. Significa que se substituirmos a casca por cavacos de madeira, conseguiremos colocar em mesmo espaço dentro do digestor cerca de 25 % a mais de peso de madeira. Como o rendimento do cozimento da madeira é bem maior (madeira cerca de 50% e casca 35 a 40%), a diferença é definitivamente aumentada. Estima-se que para cada 1% a mais de casca em peso seco alimentado junto aos cavacos de madeira, pode-se perder 0,5% na produção diária na fábrica.

- Ocorrem problemas na operações dos digestores, pelo maior entupimento das fendas das peneiras de extração de licores, etc.

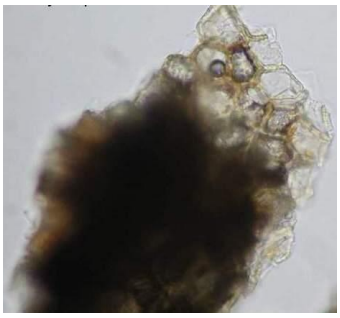
- Ocorrem maiores problemas na depuração da massa, devido maiores presenças de esclereídeos, areia, terra, pedras, etc.;

- O setor de recuperação química do licor preto é fortemente impactado pelo aumento do teor de casca nos cavacos, em função de: aumento da relação Sólidos Secos Totais/t polpa, aumento da deposição de incrustações na parte quente da caldeira, aumento da necessidade de limpezas dos equipamentos do setor, sobrecarga do setor de evaporação pelo maior teor de orgânicos dissolvidos, desbalanceamentos em íons solúveis nos licores preto, branco e verde, aumento da geração de resíduos (*dregs* e lama de cal), aumento das necessidades de purgas, etc.

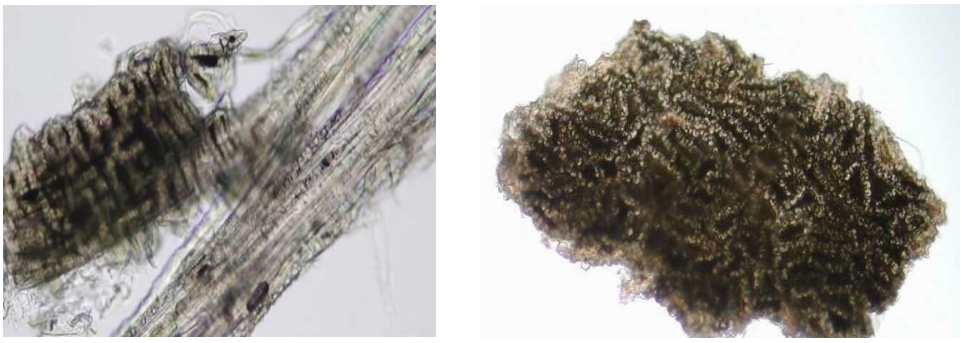
- Alterações nas qualidades das polpas, tais como: maior facilidade de refino, aumento do volume específico das folhas, redução substancial das resistências (tração, rasgo, estouro, esticamento, etc.);

- A casca pode favorecer o aumento de partículas de *pitch* ou grumos de resina nas fábricas, pelo maior teor de extrativos que possui.

- A casca é uma fonte de pintas na polpa final branqueada. Isso é um tremendo problema, tanto para as polpas de mercado como para as instalações integradas. Observando-se ao microscópio, é possível se notar muitos esclereídeos ou células pétreas, células suberificadas, feixes de fibras, feixes de casca interna, etc. Para reduzir os problemas de feixes de fibras e de pelotes de esclereídeos, as fábricas procuram cozinhar ainda mais nos digestores, reduzindo ainda mais os rendimentos. Os esclereídeos e as células de floema são muito comuns ocorrerem em grupos ou em feixes. Quando esses grumos são separados e os esclereídeos isolados, eles não são tão problemáticos durante a fabricação do papel. Entretanto, em grumos ou pelotes, eles podem causar o defeito de olho de peixe ("fish-eyes") em papel calandrado, ou pequenos furos e defeitos no revestimento do papel.



Partícula de casca presente na celulose



Feixe de fibras de floema e grumo de esclereídeos
(Fotos cedidas por Econotech / Canadá)

- Um outro problema que a casca freqüentemente traz é a presença de carvõezinhos na massa, isso quando o povoamento florestal sofreu algum incêndio e a casca se queimou. Se o descascamento for pobre, esse carvão não é digerido no cozimento e contaminará a polpa. A depuração de partículas de carvão é reconhecida como muito difícil.

- Em relação às propriedades intrínsecas das celuloses, não existem dúvidas que alguns prejuízos se fazem sentir, mais intensamente na alvura (e sua reversão) e nas resistências ao estouro, ao dobramento, ao rasgo e à tração. Os efeitos não são mais significativos porque as fibras da casca ocorrem em pequeníssima proporção na polpa final. Mesmo que tivéssemos 2,5% de casca nos cavacos base seu peso, a percentagem de polpa de casca na polpa final seria de 1,7%. Levando em conta seu teor de finos e perdas dos mesmos nas lavagens, engrossamentos de massa, etc., é possível que isso seja menor que 1,5%, nesse nosso exemplo. Por essa razão, é baixa a influência da casca em muitas das propriedades finais da folha de papel. A polpa final só mostrará significativas desvantagens em sua resistência se for feita com condições severas de cozimento e branqueamento, para compensar a presença da casca para se alcançar os valores desejados de número kappa na polpa não branqueada e alvura na polpa branqueada. Há algumas referências favoráveis, mostrando que a resistência ao rasgo pode não ser afetada devido às fibras mais longas da casca. Também a opacidade pode ser algo maior pelo aumento do número de partículas por grama de polpa.

Há muitas situações em que a fábrica tem problemas em demanda de álcali ativo/efetivo e de cloro ativo no branqueamento. Os técnicos às vezes atribuem isso à qualidade da madeira, mas o real problema está na verdade no teor de casca que acompanha os cavacos.

Numericamente, podem ser relatados alguns índices de variações em desempenho, baseados em trabalhos desenvolvidos em prática industrial e em pesquisas laboratoriais feitas com polpações e branqueamenos de cavacos de eucalipto contendo casca::

- A cada 1% de peso seco de casca nos cavacos de eucalipto, se consome em média entre 0,15 a 0,25% a mais de álcali ativo base matéria seca alimentada ao digestor (como NaOH) para cozimento;

- A cada 1% de peso seco de casca nos cavacos temos uma redução de 0,15 a 0,25% no rendimento dos cavacos totais em celulose (base matéria seca alimentada ao digestor), isso em função de: menor teor de carboidratos, maiores teores de extrativos e de cinzas minerais, mais dráticas condições de polpação requeridas;

- A cada 1% de peso seco de casca nos cavacos temos uma tendência de se aumentar o número kappa resultante em 0,3 a 0,6 unidades;

- A cada 1% a mais no teor de casca se aumenta o total de sólidos secos gerados no licor em 12 a 18 kg Sólidos Secos Totais (TSS) por tonelada seca ao ar de celulose marrom depurada.

- A cada 1% de casca sobre o peso dos cavacos se consumirá cerca de 0,025 a 0,085% a mais de cloro ativo total no branqueamento, mesmo com a tentativa de correções feitas para equivalência de número kappa no digestor e na deslignificação com oxigênio. Isso porque a polpa resultante da casca na mistura de fibras tem mais dificuldades para alvejamento e redução do número kappa.

- Cada tonelada seca de casca que entra no digestor leva consigo entre 30 a 80 quilogramas secas de íons minerais expressos como cinzas, enquanto cada tonelada de madeira estaria levando 4 a 8. Já vimos que a casca do eucalipto é muito rica em cinzas, o que significa presença de íons no sistema. Como colocado acima, a casca chega a

possuir de 10 a 20 vezes mais cinzas do que a madeira correspondente de sua árvore. Elementos como sódio, alumínio, manganês, molibdênio, cálcio, fósforo, magnésio, zinco, ferro, boro, nitrogênio e potássio, dentre outros, são encontrados em proporções de 2 a 20 vezes maiores na casca que nas toras de madeira. Mesmo o íon cloreto aparece na casca, sendo mais freqüente em regiões onde as árvores são cultivadas próximas ao mar. O acúmulo desses elementos não processuais no sistema é inevitável, quando a casca não é apropriadamente lavada ou removida. Os impactos acontecem principalmente no setor de recuperação do licor preto. No caso da linha de fibras, esse efeito não é tão grave, pois na maioria das vezes, a polpa final branqueada não mostra esse efeito detrimental devido às inúmeras lavagens e alternâncias de estágios ácidos e alcalinos no processo. Em razão da presença desses elementos-traço na casca, deve-se ter atenção especial durante branqueamentos ECF ("Elemental Chlorine Free") ou TCF ("Total Chlorine Free"). Nesses casos é fundamental se fazer a purga ou desativação desses elementos ao longo do processo (lavagens ácidas, quelação, depuração, etc.) para se otimizar a produtividade da fábrica.

Além desses relatos acima de mais graves implicações sobre a produtividade, qualidade e economicidade das fábricas de celulose, existem outras dificuldades, algumas de menor expressão, mas que estão fortemente relacionadas com a presença de casca nos cavaco de madeira. Essas dificuldades podem ser relatadas como as que se seguem, adicionalmente às anteriormente mencionadas:

- São demandadas capacidades adicionais nos depuradores para manter a limpeza da polpa em níveis satisfatórios;

- Os níveis de *pitch* e de espuma trazem custos extras em químicos utilizados para controlá-los;

- A casca traz sempre contaminantes como areia e solo, além de sua composição mineral típica. Isso tudo leva a maior abrasão e desgaste, aumentando as necessidades de manutenção.

- A presença de casca nas pilhas de cavacos acelera a degradação por diversas razões: aumento de oferta de nutrientes aos microrganismos, abaixamento do pH e aumento da atividade biológica.

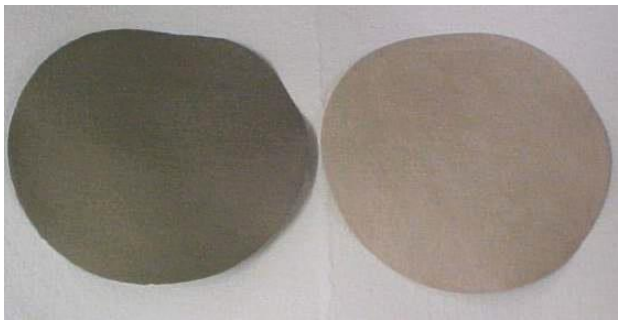
- As pequenas partículas de casca são úmidas e grudentas. Elas tendem a serem separadas nas peneiras de cavacos, mas muitas seguem aderidas aos cavacos aos digestores. Quando os finos de casca são abundantes nos cavacos, eles trazem os conhecidos problemas nas circulações de cozimento em digestores contínuos.

- Quando os operadores controlam o digestor para descarregar polpa com número kappa constante, o teor de casca variável nos cavacos é um veneno. Desde que maiores cargas de álcali ativo são necessárias para cozinhar a casca que tem dificuldades de ter o número kappa reduzido, para garantir o mesmo número kappa o operador acaba cozinhando demais os cavacos de madeira. A combinação do mais baixo rendimento da casca com o problema de se sobre-cozinhar os cavacos, acabam reduzindo ainda mais o rendimento do digestor.

- Os finos de casca tendem a entupir as peneiras dos lavadores de celulose, prejudicando a lavagem e aumentando o *carry-over* de filtrados. Isso conduz a aumentos de consumos de químicos nos estágios do branqueamento.

- Em muitos casos, mesmo com o grande aumento nas cargas de químicos no cozimento e no branqueamento, a alvura final da polpa ainda poderá ser inferior ou mais difícil de ser atingida rotineiramente.

- Existem espécies de *Eucalyptus* que desenvolvem uma casca rugosa, esponjosa e que contem muitos extrativos. Elas são pobres em fibras e ricas em células de súber. Essas espécies precisam ser muito bem descascadas para evitar problemas adicionais no processo.



Polpas kraft de casca (esquerda) e de cavacos de madeira (direita)

De qualquer forma, avaliando todos os inconvenientes causados pela presença de casca no processo de produção de celulose kraft, podem ser definidos como sendo as seguintes as desvantagens mais relevantes quando se aumenta o teor de casca nos cavacos alimentados ao digestor:

- Redução da capacidade de produção do digestor por: menores rendimentos de polpação da casca, menor oferta de matéria seca por carga alimentada (tanto em digestores contínuos como em bateladas); ou ainda, por falta de licor de cozimento nas novas quantidades demandadas;
- Sobrecargas em todas as áreas do setor de recuperação de licor preto, que também pode acarretar reduções e perdas de produção e de capacidades;
- Aumento de geração de resíduos sólidos (casca suja, *dregs*, *grits*, lama de cal purgada, condensados contaminados, cinzas da caldeira de força, etc.)
- Perdas de qualidade das celuloses resultantes, o que pode reduzir a competitividade da fábrica em suprir os mercados nos produtos requeridos;
- Aumento de custos operacionais;
- Necessidades de investimentos adicionais para adequação ao incremento na utilização da casca;
- Surgimento de gargalos operacionais de forma desbalanceada em diversos setores da linha de fibras e do setor de recuperação do licor.

Entretanto e mais uma vez fica aqui afirmado o seguinte: uma linha de fibras de uma fábrica de celulose kraft é desenhada para tolerar pequenas proporções de casca em mistura aos cavacos, já que tecnicamente é quase impossível se produzir cavacos de madeira em escala industrial que sejam isentos de casca. O problema é se descuidar de monitorar essa proporção de cascas e só vir a descobrir que o teor de casca atingiu níveis intoleráveis quando o cáos em desempenho operacional e em qualidade já estiver instalado na fábrica.

É possível se dizer que cada particular linha de fibras tem seus próprios limites em níveis de utilização de casca misturada aos cavacos de madeira, sendo que essa proporção é também função das qualidades da madeira que se misturará à casca e da própria casca. Cascas mais

suberosas e com menor teor de fibras, ou com menores valores de densidade básica tenderão a mostrar piores desempenhos.

A espécie, clone ou idade da matéria-prima podem acarretarer impactos muito distintos em relação à utilização da casca dos troncos, quer total ou parcialmente. Há espécies ou clones com teores muito mais altos de casca a um determinado estágio de produtividade. A idade talvez seja uma das causas mais impactantes, pois árvores jovens e finas possuem muito mais casca, como já visto antes.

Por isso, existem mais dois fatores críticos em relação à casca: idade da floresta e diâmetros das toras. Toras finas (diâmetros menores do que 8 cm) e árvores muito jovens (4 a 5 anos no caso dos eucaliptos brasileiros) tendem a apresentar teores de casca mais altos (acima de 15% em volume), o que pode magnificar os problemas causados pela presença de casca acompanhando os cavacos de madeira.

Em fábricas já existentes, cada situação tem sua própria peculiaridade. Em razão do número de interações e inter-dependências há que se ser cauteloso e minucioso nas análises para se otimizar o processo.

As análises precisam envolver aspectos técnicos, econômicos e ambientais, sem o que estarão incompletas.

As seguintes áreas devem ser cuidadosamente analisadas e os aspectos positivos e negativos identificados e quantificados para facilitar as decisões de melhorias e de investimentos adicionais:

- Abastecimento de madeira (disponibilidades, custos, qualidades da madeira e das toras, etc.);
- Produção e geração de energia (disponibilidades, combustíveis e matriz energética, custos, limitações, etc.);
- Área de descascamento e preparo de cavacos;
- Entradas e saídas do digestor (balanços e rendimentos);
- Limitações na área de recuperação do licor (evaporadores, caldeira, sólidos gerados e processados, forno de cal, etc.);
- Branqueamento da celulose;
- Depuração e lavagem da polpa;
- Qualidade da celulose;
- Limitações na fabricação do papel;
- Qualidade do papel final;
- Performance operacional da máquina de papel;
- Demandas dos clientes em relação aos produtos;
- Perdas e ganhos econômicos setoriais e globais;
- Impactos ambientais, positivos e negativos;
- Aspectos sociais e da qualidade de vida do trabalhador, tanto rural como industrial.

No caso de fábricas futuras, a situação pode ser completamente diferente já que o projeto poderá levar em conta todos os possíveis gargalos já apresentados e com seus impactos avaliados. Com isso, a fábrica pode valer-se de ajustes de engenharia e introduzir suprimento adicional de cascas, embora vá ter consumos de químicos mais elevados e qualidade de polpa e/ou papel algo prejudicadas. As restrições serão minimizadas pelo desenho adequado da linha fabril. A empresa também estará ciente de seus custos adicionais com equipamentos, manuseio, manutenção e seus reflexos nos custos unitários de fabricação.

Há os que defendem contundentemente o uso de madeira sem descascamento. Embora eles aceitem que ao se cozinhar a madeira

com casca se perde rendimento, fazem um cálculo de economias de madeira e não de perdas de produtividade. Relatam por exemplo que ao se cozinhar 1 tonelada de madeira de eucalipto contendo 10% em peso de casca, o rendimento depurado do cozimento com certeza será prejudicado em cerca de 2% a menor. Isso significa, segundo esses autores, que os 1.000 kg de madeira com casca resultarão em 480 kg de polpa não branqueada e depurada (rendimento = 48%). Entretanto, se essa mesma quantidade de madeira com casca for descascada, ao se retirar os 10% de cascas, só teremos 900 kg de madeira. Com um rendimento depurado de 50% (2% a mais que anteriormente), a quantidade de celulose produzida será 450 kg. Em outras palavras, a mesma tonelada de material lenhoso que vem da floresta possibilita um ganho adicional de 30 kg de polpa, ou seja, de 6 a 7% mais. Relatam ainda outros ganhos em mais fácil manuseio, simplificações na área de preparação e manuseio da madeira, etc. Isso mais que compensaria os custos extras com cozimento, branqueamento, etc.

Sempre devemos olhar um animal por diversos ângulos. Se a empresa tiver excesso de material lenhoso, ela buscará eficiências e produtividade na fábrica. Se ela tiver restrições de suprimento de fibras, ela procurará otimizar seu suprimento de matéria-prima e buscará redesenhar sua linha industrial. A grande verdade é que sempre que a empresa conseguir aumentar sua produção a partir de uma mesma unidade fabril instalada, e isso se consegue quando se tira a casca das toras, ela procurará fazer isso, mesmo que a fábrica tenha sido desenhada para cozinhar madeira com casca.

Bem, isso é um assunto sempre interessante para debates. Quem teria razão? É tipicamente um assunto para ser decidido caso-a-caso. O que eu sei é que ainda existem muitas empresas utilizando madeira com proporções elevadas de casca, ou por mau descascamento, ou por optar por não tirar a casca das toras (parcial ou totalmente).

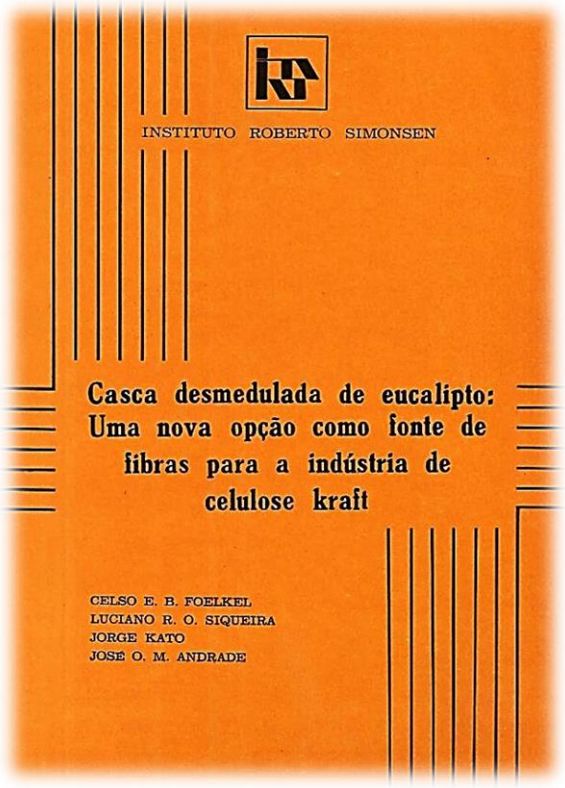
Por outro lado, há casos conhecidos de empresas (fábricas das antigas Ripasa e Aracruz) onde as fábricas foram desenhadas para funcionar com madeira com casca e elas optaram depois a mudar para madeira descascada. Por quê? De acordo com o que sei, para aumentar a produção e a capacidade da fábrica com o mínimo de investimentos. Em ambos os casos estamos falando de empresas que operam com madeira de baixo custo.

As decisões contraditórias que temos encontrado nas nossas indústrias em relação ao descascamento podem ser entendidas com base nas restrições que cada empresa está encontrando. Dependendo

da porta em que se estiver olhando, sairá uma decisão diferente. A porta de entrada significa aquela em que entra a matéria-prima fibrosa. Se as fábricas estão curtas de fibras, a casca é uma solução, não importam as dificuldades que ela traga no processo. Se a porta de saída é que for o problema, com necessidades de se melhorar a qualidade do produto ou a quantidade produzida em uma fábrica existente, a solução é se tirar a casca. Qual a restrição que temos? Se conseguirmos produzir mais polpa na fábrica, com certeza estaremos em uma situação mais vantajosa do que economizar a matéria-prima fibrosa. A polpa tem grande agregação de valor. Por isso, aumentar a produção é mais vantajoso do que economizar madeira, concordam? A resposta pode ainda assim ser sim ou não: dependerá dos fatores gargalos da empresa. Existem ainda outras portas a serem abertas ou olhadas: a da energia ou do combustível caro ou escasso, a de um gargalo seríssimo em alguma área do processo, etc., etc. Todas elas acabam mais levando a decisões do tipo para se descascar a madeira do que para se utilizá-la com casca.

Cozimento kraft de casca de eucalipto – Produto final da polpação
(Número kappa polpa ~60; Alvura ~15%ISO; Álcali Ativo = 27%)

Desmedulando a casca do eucalipto



Já vimos que a casca das árvores dos eucaliptos possui uma fração mais fibrosa constituída de fibras liberianas ou de floema, tubos crivados, células crivadas e esclereídeos. Elas também possuem células pequenas e retangulares, basicamente células de parênquima e de súber ou córtex. Essa última fração é pouco desejável na fabricação de celulose, pois ela demandará alto consumo de químicos e praticamente não agregará rendimento na conversão a celulose. Mesmo que os finos gerados permaneçam em parte na polpa, eles são mais do tipo detrimental do que benéfico. Remover esse tipo de material não fibroso antes da polpação é uma alternativa, a exemplo do desmedulamento que se faz no bagaço de cana.

Existem diversas formas de se remover essa fração fina e não fibrosa, mas em geral elas envolvem um desfibramento (preferencialmente a seco, pois permite uso energético para a medula – mas pode ser a úmido) e depois um peneiramento (igualmente a seco ou a úmido). Evidentemente a operação é grosseira e nem todas as células indesejáveis são separadas e tampouco todas as fibras são recuperadas. Há sempre alguma perda de ambos os lados. A operação

de desmedulamento de cascas de diversas espécies de *Eucalyptus* mostra rendimentos em "fibras" de 45 a 50%. Significa que cerca de 50 a 55% do material é separado como um pó fino (ou "medula de suber"), que pode ser utilizado como combustível ou enviado para compostagem. Como o processo envolve desagregação em desfibradores de discos ou de martelos, seguida de peneiramento, a contaminação de águas e ar pode ser alta. Tanto se perdem partículas do material, como material orgânico diluído que gera DQO, além das perdas de sais minerais.

O desmedulamento da casca não é ainda uma operação em vigor em fábricas de celulose de eucalipto, mas ela é uma opção factível e promissora. Fábricas de celulose de bagaço de cana se valem muito dessa operação para se retirar a medula do bagaço (http://www.ingenieria.unam.mx/~revistafi/ejemplares/V13N4/V13N4_art04.pdf)

Apesar de se remover praticamente a maioria das células parenquimatosas e corticais no desmedulamento, a porção fibrosa da casca continua a ser de mais difícil cozimento, em relação à madeira. Com essa operação de desmedulamento, muitas das dificuldades que a casca oferece são significativamente minimizadas, pois a maioria dos finos é removida antes do cozimento, do branqueamento e da depuração. Definitivamente é algo a ser avaliado quando houver carência de fibras para a fábrica.

A casca é parte vital e quantitativamente importante das árvores de eucalipto

UTILIZAÇÃO DA COPA (PONTEIROS, GALHOS E FOLHAS)

Dois monumentos vivos e magníficos com 25 anos de idade cada um deles com seus majestosos galhos:
Lado a lado, uma árvore de *Corymbia citriodora* e outra de *Ceiba speciosa* (paineira), essa última em dormência no inverno.

No Brasil, uma floresta comercial melhorada de eucalipto já costuma mostrar, aos 3 anos de idade, uma característica típica de floresta plantada bem desenvolvida e com árvores em pleno processo de crescimento para uso em futuro próximo. Nesse momento, a floresta em

questão tem uma copa bem desenvolvida, com muitas folhas e galhos finos, mas fortemente inseridos nos troncos, porém com alguns desses galhos já em processo de mortalidade natural para posterior queda ao solo.

Nessa idade, as fontes de literatura apontam que as florestas de eucalipto possuem algo como 15 a 20% de seu peso seco total nas raízes, 8 a 10% nos ramos ou galhos, 8% nas folhas, 10% na casca do tronco e entre 50 a 60% na madeira do tronco.

Conforme a floresta continuar a crescer, ela irá mudando sua forma e deve procurar balancear de outra maneira os diversos compartimentos de cada planta. As árvores crescem rapidamente formando mais tronco, reduzindo assim a participação percentual das raízes, folhas e galharia.

Quanto mais se desenvolver a árvore, aumentando o tamanho (diâmetro e altura), maior será a participação do tronco na árvore, da mesma forma que diminui a percentagem do peso seco distribuído nas raízes, casca, folhas e galhos.

Quando uma floresta comercial de eucalipto atinge sua maturidade econômica para ser colhida aos 7 anos, muitos pesquisadores afirmam que ela chega a possuir algo como a seguinte distribuição aproximada média de peso seco total entre os seus componentes: 15% nas raízes, 6% nas cascas do tronco, 7% nas folhas e ramos e 72% no xilema ou lenho dos troncos.

Os galhos das florestas de eucaliptos costumam ser finos e se desprendem com facilidade tão logo morrem devido à competição por elementos vitais (luz, água, nutrientes) entre as árvores. O desgalhamento natural começa a intensificar tão logo as copas das árvores começam a se tocar e a sombrear uma às outras.

Quando a árvore é jovem, com idades entre 18 a 30 meses, a copa pode atingir até 20% do peso seco da biomassa total da árvore. Entretanto, conforme ela cresce em diâmetro, altura e volume, esse valor percentual da copa se reduz bastante, ficando em algo entre 6 a 10%. Considera-se como copa toda a galharia, frutos, flores, folhas e ponteiro de cada árvore, em um diâmetro menor que 2,5 cm ou até 4 cm no máximo. **Acima do diâmetro de toras de 4 cm até um diâmetro limite superior de 8 cm com casca, se denominará o material de toras finas do fuste**. Foi dessa maneira que fizemos a distinção entre ponteiros e toras finas para efeito de redação esse capítulo.

As árvores jovens possuem uma galharia viva e presente ao longo de quase toda a altura do tronco ou fuste. Com o envelhecimento e morte dos ramos, os galhos em parte se apresentam vivos e com folhas viáveis e fotossintetizando, mas outros estão mortos e em processo de queda para a superfície do solo. Os galhos que caem ao solo entram em processo de decomposição, formando com outros materiais das árvores, que caem ao solo (folhas, casca, flores, frutos, sementes), o que se chama de serapilheira ou manta orgânica da floresta.

Às vezes, a própria árvore jovem é tão pequena ainda que se parece muito com o ponteiro de uma árvore adulta.

Floresta jovem de eucalipto – entre 6 a 8 meses

Quando as árvores são ainda muito jovens, com idades até um ano, a copa praticamente ocupa toda a altura da árvore, pois a galhada começa na base e se prolonga até o ponteiro superior do fuste (Vide foto acima).

Conforme passa a acontecer a competição por luz e espaço vital no solo, as copas começam a se tocar e as árvores passam a descartar os galhos inferiores inativos, em um processo conhecido como desrama natural. Aos 3 anos, a copa corresponde a cerca de 50% da altura da árvore. Com a intensificação da competição e da desrama natural, as copas vão ficando cada vez menores e aos 7 anos, correspondem a menos de 35% da altura total da árvore, concentrando a galharia útil e ativa no terço ou quartil superior do tronco.

Floresta de eucalipto aos 3 anos de idade

Uma floresta adulta de eucalipto tende a mostrar uma pequena copa na parte superior das árvores e alguns galhos finos residuais distribuídos no tronco, em alturas variadas. Raramente são encontrados galhos grossos, que costumam estarem presentes mais em situações onde as árvores sofreram algum dano, que estimulou alguma brotação lateral (danos por ventos, ataque de pragas, incêndio, morte do ponteiro, etc.).

Floresta de eucalipto aos 4 anos de idade

Área contendo floresta jovem com 6 meses (à frente na foto) e parcela experimental na idade de corte, nesse caso, 6 anos de idade

Sabe-se de experiência prática e de estudos acadêmicos, que quanto maiores forem os diâmetros dos troncos das árvores ao nível da altura do peito, menores serão as proporções de galharia e casca no peso seco da biomassa total das árvores. Mesmo que as árvores maiores possuam copas aparentemente maiores e mais pesadas, o crescimento do tronco é tão mais significativo que as proporções de copa e de casca se reduzem em relação ao peso total das árvores.

A copa das árvores costuma ser sempre vista pelos produtores de florestas como um potencial adicional de biomassa, que poderiam render receitas e resultados adicionais para a atividade florestal.

O sonho desses produtores é que essa biomassa possa ser convertida em matéria-prima para algumas industrializações, como por exemplo, para os potenciais arranjos produtivos múltiplos, que estão surgindo no setor de base florestal, com possibilidades de produção de gás combustível, bioóleo, etc.

O próprio setor de produção de celulose e papel sempre tem procurado estudar a utilização da biomassa das copas para algum processo em suas unidades industriais. Afinal, esse material pode

representar algo entre 6 a 8% do peso total da biomassa formada pela floresta madura, sendo que o percentual pode atingir 10 a 15%, quando se expressarem os valores com base no peso seco da biomassa aérea da floresta plantada de eucalipto.

As folhas das árvores são materiais muito pouco adequados para produção de celulose, pois possuem muito baixo teor de fibras. Entretanto, com as mais recentes evoluções na colheita florestal, com o uso de máquinas robustas como o "feller buncher", não há como evitar que algum percentual de folhas acabe sendo enviado para as fábricas de celulose, contaminando as toras de tronco.

O ato de se levarem folhas das florestas para fora do sítio florestal não é definitivamente uma prática adequada em termos de sustentabilidade. Isso porque as folhas são os mais ricos componentes das árvores em termos de nitrogênio. As folhas, ao caírem no solo, entram no processo de ciclagem de nutrientes, não apenas do nitrogênio, mas do fósforo, cálcio, potássio, etc.

O conteúdo em nitrogênio nas folhas varia entre 1,5 a 2,5%. Por isso, se todas as folhas forem exportadas das florestas de eucalipto, o ambiente se empobrecerá em cerca de 120 a 200 kg de nitrogênio por hectare. O nitrogênio das folhas compreende entre 30 a 35% de todo o nitrogênio orgânico presente na biomassa florestal das plantações de árvores de eucalipto.

O ato de encaminhar folhas de árvores e da serapilheira junto às toras para as fábricas estará colaborando para o mais rápido empobrecimento do solo florestal além de exigir maiores reposições de nutrientes por fertilização mineral para as novas gerações de árvores.

Folhas e outros materiais que não sejam madeira de tronco acabam se somando como carga de madeira quando os caminhões com toras chegam para suprir as fábricas. Entretanto, as folhas não resultam em celulose pelo cozimento, pois não são fibrosas. As folhas ou acabam transformadas em sólidos orgânicos dissolvidos no licor preto, pela degradação química a quente de seus componentes, ou acabam saindo com a casca, quando se faz o descascamento das toras nas fábricas. Nesse último caso, são convertidas em biomassa combustível rica em nitrogênio. Em função dos altos teores de nitrogênio das folhas, acabam aumentadas as emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) nos gases de exaustão das combustões, seja do licor preto, ou da biomassa combustível.

Cada gestor florestal deve estar atento a esses fatos, pois as remoções de folhas e de serapilheira das áreas florestais tendem a afetar de forma acentuada as metas de sustentabilidade florestal que todas as empresas possuem.

Toda atenção dos técnicos e gestores florestais deve ser colocada para minimização da exportação de folhas, usando procedimentos (como secagem das toras ou árvores no interior do talhão) para permitir que a maioria das folhas das árvores abatidas morra, seque e caia dos galhos, não saindo do talhão.

Colheita florestal com *harvester*

Existem procedimentos interessantes e originais que vêm sendo desenvolvidos para impedir a exportação de folhas.

No caso de colheita com *harvesters*, onde cada árvore é individualmente descascada, desgalhada e destopada (corte do ponteiro) dentro do talhão florestal, logo, o problema de exportação de folhas é mínimo.

Entretanto, no caso de colheita com *feller-buncher*, em especial no caso de toras colhidas com casca, o procedimento pode ser outro. Isso porque, quando o feixe de árvores é seccionado e destopado,

muitos ponteiros de árvores mais baixas seguem com as toras, pois ficam aprisionados nos maços de toras.

Galharia ou galhada secando no interior do talhão e deixando suas folhas para ciclagem de nutrientes

Disco de corte do *Feller-Buncher* para abate das árvores

Existe um procedimento prático para remoção de galhos finos e folhas, que se faz primeiramente deixando as árvores secando por um tempo no interior do talhão e depois passando com uma grade puxada por trator sobre a parte dos ponteiros do feixe, para quebrar e esfacelar

os topos, deixando muito material esparrado sobre o solo dos talhões, principalmente as folhas. Um excelente processo para melhoria da ciclagem de nutrientes, desenvolvido por nossos amigos da Eucatex Florestal.

Desgalhando ponteiros e deixando ramos finos e folhas no talhão

Por outro lado, removida a maioria das folhas, a utilização dos galhos, principalmente para clones e espécies que possuem galharia mais intensa, já é vista com maior simpatia, mesmo para os mais ferrenhos ambientalistas. Os galhos e os ponteiros das árvores podem representar novas fontes de matérias-primas fibrosas para fábricas com oferta limitada de madeira.

A proporção de galhos e ponteiros não é muito grande em relação à madeira de tronco. Por isso, as expectativas nas fábricas de celulose é que esses materiais lenhosos da copa possam ser alimentados aos digestores de forma conjunta à madeira do tronco, que normalmente é descascada. As indicações são de que uma adequada mistura desses dois tipos de materiais resulte em modificações muito pequenas tanto em qualidade de polpa como em desempenho de processos.

Ponteiros, copa, galharia de árvores de eucalipto.

Muitas folhas ricas em nitrogênio a serem conservadas no campo...

Em geral, a galharia da copa das árvores contém: madeira de tronco (ponta fina do tronco), casca, folhas, flores, frutos, sementes, galhos finos e galhos grossos. Os galhos finos são os que possuem menos que 2,5 cm de diâmetro médio com casca. Já os galhos grossos são os de diâmetros maiores que esse valor referencial, chegando até 4 cm de diâmetro. A partir desse momento, todas as vezes que se mencionar no texto galharia, galhos ou copa, se estará referindo a esse material, excluindo as toras finas dos ponteiros (essas com diâmetros maiores que 4 cm e menores que 8 cm), dependendo de cada sistema de referência nas empresas ou institutos de pesquisa.

Os galhos podem conter materiais vivos e ativos (galhos, folhas e flores) ou mortos (galhos, frutos e folhas secas). As partes mortas das

galharias costumam cair ao solo conforme o material seca no campo, passando a serem incorporadas na ciclagem de nutrientes e de carbono orgânico.

Troncos e copas de árvores de eucalipto após o abate na colheita florestal

As quantidades, proporções e tipos de constituintes das copas ou galharias dependem de uma série de fatores que têm relação com a genética das florestas e com seu crescimento e manejo.

Dentre esses fatores, podem ser citados:

- Genética do material plantado;
- Intensidade do melhoramento florestal;
- Espécie florestal;
- Densidade populacional da floresta (espaçamento);
- Volume das árvores;
- Idade das árvores;
- Conicidade das árvores (Fator de Forma);
- Qualidade do sítio florestal;
- Tipo de manejo e tratos silviculturais;
- Estação do ano (clima);
- Tamanho da copa;
- Variabilidade da floresta (dominância, competição, etc.);
- Estado fisiológico das árvores (épocas em que as árvores florescem, perdem folhas e casca, etc.);
- Índice de área foliar;
- Etc.

Essa rica e variada galharia ou copa é muito difícil de ser trabalhada, frente à enorme variabilidade em formatos e dimensões de seus constituintes. Por isso, é absolutamente inviável se pensar em separar totalmente a madeira do restante do material (casca, folhas). Sendo assim, o mais comum é se utilizar esse material como tal, convertendo-o em cavacos na própria área florestal.

Pequeno picador triturador de galhos ou copa
(em geral para destinação energética)

Outra opção para se manusear e transportar esses materiais de galhada é se amarrar os mesmos na forma de feixes ou maços de galhos, deixando-os algum tempo na floresta (em geral sobre as pilhas de toras) para secagem natural ao tempo.

Feixes, maços ou "fardos" de galhos secando sobre pilhas de toras na floresta

Outra possibilidade de se fazer gestão desse material é deixar os galhos secando na beirada ou no interior do talhão, para posterior remoção para as fábricas ou para picagem na própria área florestal, com a chegada do picador móvel.

Galharia ou galhada secando no interior do talhão

Galharia ou galhada secando na beira do talhão florestal

Como a galharia da copa é volumosa e fina, ficam fáceis as trocas de ar com o ambiente e a secagem é acelerada por esse tipo de

disposição e dimensão. Nessa secagem, as folhas se desprendem e podem cair ao solo, permanecendo no local para serem naturalmente degradadas e terem seus nutrientes incorporados ao solo.

Quando esse material de biomassa é recolhido para ser transportado às fábricas, seu teor de umidade costuma variar entre 25 a 40%, quer seja na forma de cavacos ou de maços de galhos. Como a destinação mais comum para esses galhos é a queima como combustível natural e verde, quanto mais seco estiver o material, mais valioso ele se torna.

A transformação em cavacos facilita o manuseio e o transporte. Existem inúmeros tipos de picadores de campo, que podem picar desde galhos até toras e mesmo tocos (cepas). Algumas dessas máquinas não apenas picam os materiais, como fazem uma classificação para remoção de terra, areia, pedras. Com isso, o material fica mais adequado ao uso, tanto para energia como para polpação kraft.

Avaliação dos galhos para polpação kraft

Existem diversos estudos sobre a avaliação dos galhos de eucalipto para produção de celulose kraft. Entretanto, a maioria dos estudos está mais orientada ao uso energético da galhada e dos

ponteiros das árvores. Esse tema e utilização foram discutidos em recente capítulo do Eucalyptus Online Book (Capítulo 45, publicado em 2016).

Os trabalhos de pesquisa sobre uso dos galhos para polpação kraft em geral são realizados avaliando duas situações características: a primeira, só material de galhos com casca; e a seguir, adições crescentes de material de galhos com casca em mistura com cavacos de madeira sem casca. A situação ideal seria aquela em que os galhos da copa (sem as folhas) pudessem ser integralmente utilizados; bem misturados com os cavacos de madeira (obtidos de toras de árvores descascadas). A proporção ideal de uso seria exatamente a que se obtivesse nas colheitas florestais de toras e das correspondentes galharias.

Existem algumas, mas não muitas, referências na literatura sobre a qualidade do material de galhos para a produção de celulose kraft. Afinal, o processo kraft é definitivamente o mais indicado para produção de celulose para esses tipos de materiais exóticos e de grande variabilidade.

De uma maneira geral, as principais características das madeiras de galhos dos eucaliptos, em relação à madeira de tronco, são as seguintes:

- Proporção variada de madeira de tração, que costuma aparecer preferencialmente na região superior dos galhos mais grossos e que estão sujeitos a forças de tração exercidas pelo seu peso e pela gravidade atraindo os mesmos para baixo. Mais adiante nessa seção serão mais bem caracterizadas as madeiras de tração em eucaliptos.

- Alta proporção de casca em relação à de madeira. Como as peças de galhos não costumam serem descascadas, muitas das características químicas e anatômicas dos galhos, bem como de desempenhos de polpação, se devem mais à presença da casca do que de particularidades muito diferentes das madeiras dos galhos.

- As densidades básicas da madeira e da casca dos galhos de eucalipto são muito similares às encontradas nos mesmos tipos de tecidos nos troncos para a mesma árvore.

- As fibras celulósicas obtidas dos galhos possuem menores dimensões do que as obtidas do xilema do tronco (galhos = 0,6 mm de comprimento e 4 micrômetros de espessura de parede).

- Os teores de extrativos totais no material seco de galhos são mais altos do que os obtidos para as madeiras dos troncos, sendo superiores em cerca de 3 a 4% em extrativos a mais, base peso seco.

- Os teores de cinzas também são maiores nos materiais de galhos, os quais possuem mais casca, ficando entre 0,3 a 0,8% maiores em relação aos teores de cinzas das madeiras de tronco.

- Os teores de lignina do material de galhos não diferem em relação aos encontrados na madeira do tronco, considerando-se a mesma árvore.

- Quando o conteúdo de madeira de tração for alto nos galhos, é bem provável que o teor de holocelulose seja maior nos materiais secos dos mesmos em relação ao da madeira do tronco, mais uma vez, para a mesma árvore em análise. Isso em função do usualmente mais alto teor de celulose e hemiceluloses na madeira de tração.

Acontece que existem dados, às vezes conflituosos, em relação às comparações entre materiais de galhos e de madeira do tronco. Muitas vezes a madeira de tronco apresenta mais baixo teor de lignina e mais alto de holocelulose e outras vezes, o inverso. Não podemos esquecer que quando se analisam materiais amostrados de galhos das árvores, tem-se um mistura de madeira e casca, sendo que também existem muitas variações entre as características de galhos finos, grossos e os galhos ou ponteiros finos. Já para os teores de extrativos totais e de cinzas, a literatura é mais concordante, sendo que na maioria dos estudos, esses dois teores são mais altos no caso do material seco dos galhos.

A produção de celulose kraft a partir de galhos de eucalipto tem sido estudada geralmente com cavacos obtidos de galhos sem que esses sofram descascamento, pois isso seria muito difícil de ser realizado em termos práticos.

A proporção de casca também é bastante variável nos galhos, pois depende do diâmetro dos galhos e de suas posições nas copas das árvores.

Toras de madeira contendo casca e galhos com folhas sendo alimentadas a um descascador

A qualidade da celulose e os rendimentos da polpação vão depender fundamental e vitalmente das proporções relativas de madeira, casca, folhas e madeira de tração no material de galhos enviado para polpação. Se isso não for claramente estudado e avaliado, poderemos ter os mais variados resultados e conclusões para as polpas e polpações de galhos de eucaliptos.

Os desempenhos da casca, da madeira e da madeira de reação são tão distintos em termos de polpação e qualidades das polpas, que o maior efeito para variação nessas avaliações de galhos se devem não ao galho tal qual referido como se fosse um material homogêneo, mas às diferenças em sua constituição ou composição.

Produzir polpa celulósica a partir de 100% de galhos não deve ser objetivo de nenhuma fábrica de celulose. O que eventualmente algumas fábricas podem ter em mente seria se utilizar a madeira de tronco sem casca em mistura com alguma percentagem de cavacos obtidos dos galhos que entraram na fábrica junto às toras mais grossas. Isso poderia acontecer quando se trouxerem toras de madeira com casca e ricamente contaminada com galhos. Mesmo submetendo essas toras ao descascamento, algum percentual de material de galhos poderia ser aceito para a polpação, enquanto a maioria dos galhos e de algumas folhas seria separada junto com a casca, sendo esse material misto geralmente enviado para geração de energia, na qualidade de biomassa energética.

Essas pequenas contaminações de materiais de galhos e folhas junto aos cavacos de madeira são considerados pelos fabricantes como incapazes de afetar tanto a qualidade da celulose (resistências e propriedades físicas) como o desempenho da polpação kraft. Em alguns casos, se o teor desses galhos aumentar acima de certos limites (cerca

de 1,5% base material seco), podem ser notados alguns efeitos nocivos, tais como: ligeiro aumento do número kappa após digestor, maior teor de "shives" ou palitos e maior demanda de produtos químicos na polpação e no branqueamento da celulose.

Se todos os galhos com casca (e de diâmetros menores que 4 cm) fossem enviados juntos com os cavacos de madeira, eles representariam no máximo algo como 1,5 a 3% do peso de cavacos para a alimentação do digestor. Trata-se de algo muito raro de acontecer, a menos que propositadamente incorporados por procedimentos especiais aos cavacos de madeira.

De qualquer forma ficam bem claros os seguintes pontos:

- Quanto maior for o teor de galhos nos cavacos enviados à polpação, mais graves podem ser os efeitos na polpação, principalmente pelo adicional de cascas que são próprias dos galhos;

- Quanto maior for o teor de casca nos galhos e também nos cavacos obtidos de troncos, mesmos efeitos podem ser notados na qualidade da celulose e desempenho do digestor.

Um dos principais desses problemas negativos na polpação é a perda de rendimento em conversão da matéria-prima em celulose, em base de peso seco. Existem estudos que demonstram que a cada aumento de 5% de material de galhos com casca misturado nos cavacos de toras (sem casca) corresponde a uma perda de 0,15% no rendimento depurado da polpação. Isso acontece quando se aumenta gradualmente o teor de galhos na mistura com cavacos, entre 0 a 40% de material de galhos, conforme realizado por Oliveira em 1981. Entretanto, quando a proporção de material de galhos aumenta para valores entre 60 a 80% do total de cavacos, a perda de rendimento dobra para 0,25% para cada aumento de 5% de galhos na mistura.

A deslignificação depende muito dos teores relativos de casca e de madeira de tração no material encaminhado ao digestor. Em geral, conforme se aumenta a presença de galhos, e consequentemente de casca, notam-se aumentos do número kappa, maior necessidade de álcali efetivo e de reagentes químicos para se branquear a polpa resultante. Também costuma acontecer uma pequena queda da viscosidade da celulose, frente à presença de galhos na polpação.

Como esperado, as pesquisas de diversos autores têm mostrado que a qualidade e desempenho da produção de celulose kraft são

afetados na medida em que as características das polpas são modificadas pelos galhos e pela casca dos mesmos, bem como pela madeira de tração, eventualmente presente.

Da mesma forma que mencionado para rendimentos de polpação e para desempenho do branqueamento, as propriedades mecânicas das polpas celulósicas, que dependem da ligação entre fibras e da resistência da parede das fibras, podem sofrer pequeno decréscimo.

Infelizmente, a maioria dos artigos e teses acadêmicas que buscam estudar o efeito de galhos de árvores na polpação kraft não faz menção aos teores de casca ou de madeira de tração nos mesmos.

Sabe-se que a madeira de tração (ou tensão) tem características diferentes dos materiais de casca e de xilema, tanto em composição química, dimensões de fibras e desempenho industrial.

A madeira de tração dos eucaliptos costuma apresentar maiores teores de celulose e de extrativos, bem como menor teor de lignina do que a madeira normal do tronco. Com isso, são mais facilmente deslignificadas no digestor, chegando a mostrar até mesmo melhores resultados em rendimentos do que a madeira normal.

Quanto à qualidade da madeira, a madeira de tração pode mostrar densidade básica ligeiramente maior e fibras de paredes mais espessas em relação à madeira normal da árvore. Quanto à qualidade da lignina, têm sido relatados valores ligeiramente maiores de relação siringila/guaiacila nas madeiras de reação, mais um ponto favorável para a polpação kraft. Também são relatados desempenhos melhores de branqueamento e em algumas propriedades da celulose.

Recomenda-se a leitura do texto a seguir para entender melhor quais as diferenças entre a madeira de reação e a madeira normal do tronco para um estudo com *Eucalyptus grandis*:

Caracterização da madeira de tração em *Eucalyptus grandis* e sua influência na produção de polpa celulósica. L.C. Sousa. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 93 pp. (2004)

http://alexandria.cpd.ufv.br:8000/teses/ciencia%20florestal/2004/183040f.pdf

Toras finas de madeira destinadas ao processo fabril, mas contendo proporção elevada de galhos abaixo de 4 cm e muitas folhas e casca

Frente ao que foi discutido e apresentado nessa seção, o que se pode concluir é que cada situação terá sua própria particularidade no caso de se desejar utilizar material de galhos das árvores na polpação, sendo que os principais fatores de impacto serão:

- Proporção entre cavacos de galhos e cavacos de madeira normal;
- Conteúdo de casca no material de galhos;
- Conteúdo de madeira de tração no material de galhos;
- Propriedades intrínsecas de cada um desses materiais, que como já visto, depende de espécie, clone, idade da árvore, etc.

Toras de madeira fina destinada ao processo fabril, mas contendo proporção elevada de galhos abaixo de 4 cm e toras finas entre 4 a 8 cm de diâmetro

Galhos e ponteiros recolhidos no talhão florestal após a colheita das árvores
Fonte: Pincelli, 2011

A beleza singular de uma floresta de eucalipto com seus galhos finos

Pilha de toras de madeira contendo toras finas, galhos e folhas

UTILIZAÇÃO DE TORAS FINAS

Dentro do escopo do texto desse capítulo, **denominam-se toras finas as que tiverem diâmetros variando entre 4 a 8 cm de diâmetro, porém sendo o diâmetro de 4 cm** considerado como a dimensão mínima nas toras definidas como finas.

Abaixo desse valor de 4 cm de diâmetro e até limite de 2,5 cm, mesmo que o material fino seja originado de ponteiro fino do topo do fuste, ele será incluído dentro da categoria de galhos grossos.

Da mesma forma, se um galho for mais grosso do que 4 cm de diâmetro e for suficiente longo para gerar uma tora aproveitável, esse material será denominado de tora fina e não de galho.

Essas definições são muito mais de natureza prática do que científica. Durante as operações da colheita florestal, máquinas e pessoas se movimentam e trabalham freneticamente para colher, manusear e empilhar as toras de madeira. Não há como tentar separar galhos, ponteiros, toras finas e toras normais, sem causar atrasos em operações demandantes de muitos recursos humanos e máquinas. Por essa razão, se esses diferentes tipos de materiais gerarem toras em dimensões comerciais e utilizáveis pelos consumidores, necessariamente acabarão sendo direcionados para a mesma pilha de toras. Isso só não acontecerá se houver forte determinação em separar esses tipos de

materiais no talhão florestal e formar pilhas individuais de cada um dos mesmos.

Evidentemente, nas condições atualmente vigentes para comprimentos de toras variando entre 2 a 7 metros de comprimento, dificilmente teremos galhos grossos muito longos. Porém, desde que esses materiais se encaixem bem na pilha de toras comerciais, eles acabarão sendo direcionados para as mesmas, quer sejam toras finas e curtas ou galhos grossos e curtos.

As toras finas são resultantes dos seguintes tipos de florestas, árvores ou componentes de árvores:

- Árvores dominadas da floresta, as quais costumam muitas vezes serem desprezadas pelo operador da colheitadeira florestal, principalmente dos *harvesters*. Eles fazem isso para não perderem produtividade, já que toma praticamente o mesmo tempo nessas máquinas para se colher uma árvore fina de menos de 0,10 m³ e outra volumosa e grossa de mais de 0,35 m³.

- Árvores de povoamentos jovens, colhidos antecipadamente, antes da idade ideal para colheita com maiores rendimentos. Isso costuma acontecer porque se demanda madeira e só existem esses povoamentos jovens para serem agredidos e colhidos como fonte de suprimento, ou porque o proprietário da floresta necessita de receitas e decide explorar o povoamento em época ainda juvenil.

- Árvores de povoamentos de baixa produtividade florestal devido situações tais como: déficit hídrico, nutrição inadequada, ataque de pragas ou doenças, ocorrência de incêndios ou de geadas, etc.

- Galhos muito grossos nas árvores (mais do que 4 cm de diâmetro) e longos (mais do que 2 metros de comprimento).

- Ponteiros com casca da parte mais alta do fuste (na copa), com diâmetros de tronco acima de 4 cm.

As toras de diâmetros inferiores a 8 cm são normalmente conhecidas como “finos” pelo pessoal florestal e das fábricas usuárias de madeira. Os finos sempre estarão presentes nas cargas de toras de madeira, mesmo que a recomendação seja para que eles não sejam recolhidos como madeira comercial. A razão é muito simples: é muito difícil se impedir que eles sejam eliminados na floresta, e que não

escape algo nessa tentativa de impedir sua coleta para evitar que se misturem às toras comerciais.

Existem sistemas de colheita (como é o caso do *feller-buncher*) onde inevitavelmente sempre se terá algum arraste de toras finas misturadas nas toras consideradas adequadas. Isso acontece pelas próprias características desse sistema de colheita, que secciona ou traça feixes de árvores com distintos comprimentos de fuste: e todas elas agarradas simultaneamente compondo esse feixe sendo traçado em toras de comprimentos os mais próximos da especificação.

Pilha de toras de madeira de eucalipto contendo muitas toras finas mescladas às de diâmetro dentro da especificação

Em muitos tipos de fábricas (celulose e papel, painéis MDP ou compensados), as toras de madeira costumam ser descascadas. A ação de descascamento é agressiva e pode danificar essas toras finas, que em geral são de baixa resistência. Também a remoção de casca das toras finas é pouco eficiente.

Mesmo assim, as toras finas podem ser consideradas interessantes, pois os fragmentos de toretes, que se quebram a partir das toras finas, acabam sendo incorporados à casca. Com isso, a madeira desses toretes finos acaba contribuindo para uma melhoria da qualidade da biomassa energética. Isso porque o poder calorífico da madeira é superior ao da casca, logo isso é um fator de melhoria da biomassa combustível e uma adição de mais biomassa para geração de calor, vapor ou eletricidade.

Com isso, as toras finas enriquecem a qualidade da biomassa energética, mostrando interessantes resultados. Importante ainda ressaltar que uma fração significativa das toras finas acaba sendo direcionada ao processo principal da fábrica (por exemplo: produção de celulose), pois nem todas as toras finas se quebram e viram biomassa energética.

Toretes formados no descascamento em tambor pela fratura de toras finas misturadas a toras mais grossas

Casca fragmentada pelo picador de cascas mostrando grande proporção de cavacos de madeira em sua constituição (variável entre 5 até 30% de madeira base material seco).
Nesse caso, é muito importante não jogar esse material fora como resíduo, pois a perda será dupla – de madeira e de casca energética.

As toras finas podem ou não serem descascadas, conforme o tipo de tecnologia disponível, da gestão aplicada e das exigências do consumidor do material resultante.

Acabamos de mencionar que em algumas situações, as toras finas são muito bem-vindas, enquanto que em outros casos, elas podem vir a se constituir em problemas ou resultarem em alguns tipos de gargalos operacionais.

Toras finas costumam apresentar algumas características que podem agravar os processos de manuseio, transporte e estocagem nas florestas e nas fábricas. Isso em função dos altos fatores de empilhamento que geram. Além disso, as toras finas podem atrapalhar na formação das pilhas de toras, pois muitas dessas toras possuem residuais de pedaços de galhos, formando forquilhas e irregularidades nos formatos das toras.

Fonte: CGEE, 2014

Estão relacionadas a seguir, algumas das características das toras finas, sendo que algumas podem ser consideradas como vantajosas aos processos e outras o oposto disso:

Rápida secagem das toras finas em função de seus pequenos diâmetros, já que o diâmetro das toras consiste na dimensão de mais lenta difusão e movimentação da água nas toras de madeira.

Com a rápida secagem das toras finas no campo, elas ficam muito mais tempo do que o necessário para secagem, visto que precisam aguardar a secagem das toras mais grossas. Com isso, alguma fração de casca pode se soltar delas devido à secagem e à

contração, havendo assim algum desprendimento de cascas (espécie de descascamento natural).

Toras finas são mais cônicas e menos cilíndricas em relação a toras normais.

As toras finas, quando empilhadas, ocupam muito mais volume do que as toras mais grossas, isso em função dos seus baixos fatores de cubicação e altos fatores de empilhamento. Resulta disso, que as toras finas apresentam baixo peso seco por volume de material empilhado (ou por estéreo de toras empilhadas).

As toras finas podem ser provenientes de árvores onde existe a presença de ramos vivos e eventualmente grossos. Esse fato dificulta o desgalhamento dessas toras, que acabam ficando com residuais de tocos de galhos, o que prejudica ainda mais o volume de vazios na pilha de toras, além de serem causadores potenciais de acidentes trabalhistas.

As operações de desgalhamento das árvores no campo podem ser feitas mecanicamente (pela ação do *harvester*), pelo uso de grades quebradoras de galhada das copas (como visto em outra seção desse capítulo), ou pela ação semi-mecanizada onde operadores com motosserras cortam os galhos e liberam toras finas para aproveitamento.

Quando a operação de desgalhamento é feita com motosserra, são obtidas algumas vantagens, apesar do maior custo dessa operação: melhor e mais eficiente remoção dos galhos; identificação mais adequada do diâmetro mínimo de corte dos ponteiros ou de destopo do fuste.

Os cavacos de madeira obtidos de toras finas são mais irregulares, com maior presença de lascas, casca, cavacos grandes e espessos, serragem e pó de madeira. Com isso, a densidade aparente desses cavacos é menor do que aquelas obtidas para cavacos de toras comerciais sem casca e de maiores diâmetros (dentro da especificação da fábrica).

As toras finas são mais leves e mais fracas, por essa razão sofrem mais quebras e fraturas nas operações de manuseio de toras, principalmente quando manuseadas conjuntamente às toras mais grossas e mais resistentes.

Tora fina dilacerada por ações mecânicas impactando sobre ela em um pátio de toras

O excesso de toras finas em geral conduz a uma queda da eficiência operacional e à perda de rendimentos de diversos equipamentos industriais (picadores, carregadores, veículos de transporte, etc.) e florestais (*harvesters*, gruas, serras traçadoras, etc.).

Toras finas apresentam altas proporções de casca (18 a 25% do volume das toras finas consistem de casca).

As toras finas impactam em custos operacionais nas fábricas e nas florestas, principalmente por resultarem em pilhas de maior volume e menor peso seco.

Eventualmente, as sobrecargas que surgem pelo aumento de toras finas resultam em gargalos operacionais, com redução da capacidade produtiva em diversas operações nas fábricas e nas florestas.

Apesar das inúmeras e diversas desvantagens das toras finas, elas podem ser valiosas adições de matérias-primas lenhosas florestais, em especial em situações de limitações do suprimento de madeira. Elas são produzidas por florestas, na maioria das vezes, nas mesmas florestas e pelas mesmas árvores que produzem as toras mais grossas. Também, se forem simplesmente descartadas, também se incorrerá em custos de remoção ou de desagregação no campo, para evitar riscos de incêndios, atração de ladrões de madeira, ou prejuízo em operações florestais subsequentes.

Descartar toras finas, ou simplesmente jogar fora materiais tão duramente produzidos e pagar para se fazer isso, é definitivamente se praticar uma gestão de baixa qualidade, eficiência e eficácia.

Observem as seguintes e fundamentais realidades ou fatos:

As toras finas produzidas pelo seccionando de um fuste para eliminar toras do ponteiro com diâmetros entre 4 a 8 cm, quando obtidas de uma mesma árvore, podem significar uma perda de 4 a 10% do volume comercial dessa árvore.

Árvores de maior diâmetro à altura do peito (DAP) apresentam percentuais menores de perda pelo descarte de toretes finos abaixo de 8 cm de diâmetro, mas mesmo assim próximos a 4% de madeira removida como toras finas.

Arvores de menores dimensões podem ter DAPs entre 10 a 13 cm, logo, significativa porção dessas árvores seria convertida em toras finas caso se admitisse um limite de corte das toras com uma limitação de diâmetro mínimo em 8 cm.

Numericamente, temos as seguintes situações a título de exemplo:

- Árvores finas de eucalipto, com DAP próximo a 13 cm, mostram provavelmente volumes totais (com casca) de 0,17 a 0,18 m³. A quantidade de toras finas (entre 4 a 8 cm de diâmetro) obtidas das mesmas pode representar entre 9 a 12% do volume comercial dessas árvores.

- Árvores de eucalipto com dimensões medianas, com DAP próximo a 16 cm, mostram provavelmente volumes totais (com casca) de 0,24 a 0,26 m³. A quantidade de toras finas (entre 4 a 8 cm de diâmetro) obtidas das mesmas pode representar entre 5 a 7% do volume comercial dessas árvores.

- Árvores de eucalipto com dimensões maiores, com DAP próximo a 20 cm, mostram provavelmente volumes totais (com casca) de 0,33 a 0,36 m³. A quantidade de toras finas (entre 4 a 8 cm de diâmetro) obtidas das mesmas pode representar entre 3 a 4% do volume comercial dessas árvores.

Há pelo menos duas razões importantes para se optar por se aceitar parcialmente a presença de casca junto aos cavacos para cozimento kraft:

- A possibilidade de se consumir toras finas sem se descascá-las (por exemplo, diâmetros menores que 6 ou 7 cm), reduzindo as perdas de madeira na floresta e no descascamento, e simplificando toda a operação nessas áreas;

- Aumentar a produção de celulose não na fábrica, mas por hectare de floresta plantada. Dentro de certos limites, mesmo com os problemas

conhecidos causados pela casca, a sua utilização parcial acaba por aumentar a produção de celulose por hectare de floresta.

Vejamos o seguinte exemplo prático (dados florestais e industriais):

- Produção florestal (com casca) no corte da floresta: 350 m³/ha
- Volume sólido de toras finas (diâmetro menor que 8 cm): 25 m³/ha
- Volume de toras com diâmetro maior que 8 cm : 325 m³/ha
- Casca nas toras mais grossas (12% em volume): 39 m³/ha
- Eficiência de descascamento nas toras grossas : 85%
- Casca remanescente nas toras grossas: 5,85 m³/ha
- Perda madeira em toras grossas devido ao descascamento: 1,5%
- Madeira perdida das toras grossas: 4,29 m³/ha
- Quantidade madeira mais casca ao digestor (toras grossas): 287,56 m³/ha
- Quantidade de casca nas toras finas (20%): 5 m³/ha
- Produção celulose toras grossas (49,8% rendimento e densidade básica toras grossas com casca = 0,50 g/cm³): 71,60 t a.s./ha
- Produção de celulose das toras finas sem descascamento

(46% de rendimento e densidade básica média = 0,47 g/cm³): 5,41 t a.s./ha

- Produção total celulose usando toras finas (com casca) e toras normais: **77,01 t a.s./ha**
- Proporção de celulose produzida devido toras finas: **7,03%**

Pode-se perfeitamente observar que as toras finas, que poderiam estar sendo descartadas como resíduos florestais ou sendo queimadas em caldeira de biomassa, foram capazes de gerar 5,41 toneladas absolutamente secas e adicionais de polpa por hectare, correspondendo isso a 7,03% de fibras adicionais por hectare de floresta.

Nada a se desprezar, não é mesmo?

Em situações de falta de madeira ou quando houver limitações de custo elevado da matéria-prima fibrosa, essa é definitivamente uma alternativa a considerar, embora se tenha depois que conviver com outros problemas, que poderão exigir contínuas otimizações de processo.

Importante nessas condições não é só o balanço econômico pontual, mas sim um balanço global da empresa. Muitas vezes, a conclusão pode ser que esse ganho em produção não se justifique e que é preferível se pagar mais por uma madeira de maior diâmetro de toras e que venha, até mesmo de mais longe.

Esse balanço global pode ser feito em uma base fixa de tempo para as duas situações, por exemplo, um dia ou um mês de produção na floresta e na fábrica. Todas as possíveis implicações e custos associados devem ser levantados para uma mais sábia decisão.

Em geral, a altura comercial de uma árvore de eucalipto em idade de colheita aos 6 a 8 anos pode atingir entre 20 a 30 metros. Caso se considere o comprimento de fuste entre as seções de diâmetro entre 4 e 8 cm, pode-se perfeitamente encontrar comprimentos entre 3 a 6 metros de toras finas. Ou seja, descartar as toras finas significa aumentar bastante as perdas de matéria-prima florestal e aumentar a geração de resíduos de colheita.

Toras finas e nem tão finas perdidas em pátio de toras

Uma das principais desvantagens das toras finas é o alto valor que suas pilhas mostram para fator de empilhamento (relação do volume em metros cúbicos empilhados pelo volume sólido de toras).

Caso se construam pilhas de toras de madeira com casca com diâmetros semelhantes, como realizado por Foelkel & colaboradores (1978), algo próximo pode ser encontrado como mostrado na tabela a seguir:

TORAS DE MADEIRA Faixas de diâmetro médio	Nº toras/m² (na seção transversal da pilha)	Área basal média de cada tora (m²/tora)	Área total de madeira (m²) por seção transversal de 1 m² da pilha (Fator de Cubicação)	Fator de Empilhamento
04 cm ± 0,5	292	12,48	0,36	2,78
06 cm ± 0,5	152	27,90	0,42	2,38
08 cm ± 0,5	96	50,26	0,48	2,08
15 cm ± 0,5	34	176,70	0,60	1,67
20 cm ± 0,5	21	314,13	0,66	1,51
25 cm ± 0,5	15	490,86	0,74	1,35

Do que foi exposto até o momento e também pelos dados da tabela imediatamente acima, pode-se deduzir que as toras finas mostram as seguintes grandes desvantagens quando empilhadas:

- Número significativamente maior de toras para compor um volume equivalente a um metro cúbico de toras empilhadas.

- O fator de empilhamento para as toras finas de 4 cm de diâmetro chega até a representar o dobro do valor que é obtido para as toras entre 20 a 25 cm de diâmetro. Comparativamente a toras de 15 cm, o valor é um pouco melhor, mas ainda assim, cerca de 65% maior.

Com a finalidade de utilização de toras finas como matéria-prima fibrosa ou lenhosa nas fábricas consumidoras de madeira, existem algumas alternativas que são eventualmente adotadas, conforme as circunstâncias específicas de cada usuário:

- Colher, manusear e transportar as toras finas misturadas às demais toras mais grossas, sem estabelecer separação ou distinção das toras por diâmetro. Toda a gestão das diferenças de qualidade e desempenho deverão assim serem gerenciadas nas fábricas ou setores usuários das toras.

- Separar as toras finas na beira do talhão florestal, coisa que pode ser viável principalmente no caso de colheitas com *feller buncher* e *skidder*, quando as árvores são arrastadas até a beira do talhão para serem seccionadas em toras. O feixe de árvores vai então sendo cortado em toras, começando pelos diâmetros maiores e ao final, os ponteiros com toras finas podem ser seccionados e estocados separadamente, em pilhas específicas para toras finas.

- As toras finas separadas na floresta podem ou serem picadas em cavacos na própria área florestal (em geral com casca) para envio de cavacos e não de toras aos usuários. Outra alterativa é levar as toras finas para serem processadas nas fábricas através de veículos especiais para cargas mais volumosas, com altura maior para poderem carregar maiores pesos secos de material.

- No caso de produção de cavacos na própria área florestal existem diversas opções disponíveis, até mesmo um parcial descascamento e a classificação dos cavacos, para eliminar serragem, lascas e fitas de casca. O manuseio do material a granel (cavacos) também facilita muito a logística, pois os cavacos são muito mais fáceis de serem transportados e manuseados do que as toras finas empilhadas.

Aspectos da polpação kraft de toras finas de árvores

As toras finas, mesmo com as eventuais desvantagens que possam oferecer, podem perfeitamente serem introduzidas em

processos de produção de celulose kraft, respeitando suas virtudes e suas desvantagens processuais.

As desvantagens são conhecidas e já foram relatadas, mas é importante relacionar os principais reclamos dos clientes de madeira que são "obrigados" a utilizar toras finas para abastecer fábricas de celulose kraft.

Inicialmente, as insatisfações estão relacionadas às próprias características das toras finas e dos cavacos gerados a partir delas:

- A baixa relação peso seco por volume de toras empilhadas;
- A fragilidade mecânica das toras finas, que se quebram em operações de manuseio, transporte e descascamento;
- A introdução de maiores quantidades de casca aos digestores, frente às dificuldades de descascar toras tão finas e com maior proporção de cascas;
- A produção de cavacos mais irregulares em dimensões e com menor densidade a granel ou densidade aparente dos cavacos (peso seco de cavacos/m³ de cavacos).

Independentemente das dificuldades que as toras finas podem trazer, elas não deixam de representar quantidades significativas de matéria-prima florestal que podem ser introduzidas em processos industriais de fabricação de celulose ou para geração de um biocombustível útil e renovável para alimentar caldeiras a biomassa.

A forma mais usual de gestão das toras finas é o uso simultâneo dos materiais de menores diâmetros (entre 4 a 8 cm) com as toras normais. Ou seja, as toras finas entram misturadas com as mais grossas, conforme vão sendo produzidas na floresta, sem distinção alguma de manuseio e estocagem. Elas podem até mesmo sofrerem descascamento na floresta, pois alguns equipamentos de colheita fazem a tentativa de remoção da casca da árvore tão logo abatem a mesma. Mesmo que a eficiência nessas toras finas não seja tão boa como nas seções de maiores diâmetros, muita casca acaba sendo removida na operação.

Alternativa muito comum é o descascamento sendo feito nas fábricas, pois as perdas de madeira e casca dessas toras finas na operação de descasque se somam como combustíveis muito apreciados

para alimentar caldeiras de biomassa. Ou seja, nada se deve perder e tudo pode ser transformado.

Desde que as participações possivelmente maiores de casca enviadas ao digestor e mesmo com as maiores perdas na classificação dos cavacos devido às toras finas, se os desempenhos dos equipamentos da linha de fibra não mostrarem problemas operacionais, as matérias-primas adicionalmente recebidas podem ser aproveitadas e em alguns casos, até mesmo abençoadas.

Mesmo que aconteçam alguns prejuízos de desempenho na digestão, branqueamento e caustificação, se eles conseguirem ser absorvidos e o conjunto dos indicadores mostrar melhoraria no desempenho financeiro das empresas, essa importante participação desse material fino produzindo pelas florestas plantadas será mantida e estimulada. Mesmo se houver reclamos de um ou outro técnico da fábrica ou da área florestal.

Deve-se sempre estimular a que os técnicos busquem aperfeiçoar o uso e minimizar os efeitos negativos encontrados, e nunca aceitar que a melhor opção seja descartar os finos e não enviar os mesmos às fábricas.

Quanto às características físico-químicas desses materiais, existem muitos dados controversos, apontando uma ou outra direção em alguns parâmetros de qualidade ou desempenho. Isso em função das diferentes origens das toras finas (ponteiros, desbastes ou árvores dominadas) e de seu variado conteúdo em cascas.

As seguintes conclusões podem ser depreendidas a partir do que se encontra na literatura e da experiência prática do autor desse texto:

- O material de toras finas, em especial o proveniente dos ponteiros do fuste possuem altíssimo conteúdo de alburno, pois esses topos são as mais recentes madeiras formadas pela árvore durante seu crescimento em altura.

- Nas toras finas do alto do fuste, as madeiras possuem fibras muito parecidas às da madeira normal, mas podem ter paredes ligeiramente mais espessas, principalmente por serem originadas de um câmbio fisiologicamente mais maduro.

- Quando as toras finas são derivadas de árvores dominadas do povoamento, elas podem ter maior presença de cerne e até

mesmo maiores valores de densidade básica, pelo menor ritmo de crescimento das árvores, com anéis de crescimento mais estreitos.

- A densidade básica da madeira das toras finas pode ser ligeiramente maior do que a densidade básica média das árvores da mesma floresta. Em parte, isso se deve à atividade do câmbio mais maduro e em parte pela presença de nós da inserção dos galhos dos ponteiros do fuste.

- Quimicamente, as madeiras de toras finas possuem pequenas diferenças em relação à madeira do restante da árvore: menor teor de lignina, maior teor de holocelulose (pela maior espessura da camada S_2 da parede secundária), maior teor de extrativos (pela presença de nós dos galhos).

Os principais efeitos das toras finas na polpação kraft podem ser os seguintes:

- Ligeira redução no rendimento depurado em produção de celulose, o que pode ser explicado por: maior percentagem de casca e de extrativos, maior teor de rejeitos devido nós vivos nos ponteiros do fuste.

- Possível e ligeiramente maior demanda de álcali ativo para cozimento, com eventual aumento do número kappa da polpa não branqueada (função de cavacos sobre-espessos, nós, cascas, etc.).

- Eventual perda de produção em função de gargalos criados na produção de cavacos e na alimentação dos mesmos ao digestor.

- Caso a proporção de casca acompanhando os cavacos aumente em função do uso de toras finas, os problemas na polpação podem ser magnificados, passando a acontecer em outras áreas da linha de fibras (branqueamento) e na qualidade final da celulose (resistências e nível de limpeza). Mas isso seria muito mais um efeito da casca do que da madeira das toras finas.
  O descascamento das toras finas pode ser feito em separado, em equipamentos especialmente desenhados para elas, da mesma forma que a produção de cavacos classificados. Entretanto, essa não é a situação mais comum.
  As toras finas, na maioria das vezes, são processadas misturadas com as toras de dimensões normais. As áreas que se beneficiam

disso em parte são: a linha de fibras, por receber mais madeira da floresta; a caldeira de força, por receber mais e melhor biomassa combustível.

- Em função de suas características e dos efeitos processuais na fabricação de celulose kraft são relatados maiores níveis de consumo específico de madeira para as toras finas por tonelada de celulose sendo produzida. Quando o consumo específico é relatado com base em metro cúbico de madeira sólida por tonelada de celulose, as diferenças não são muito significativas entre as toras finas e as toras de dimensões normais. Entretanto, se o consumo específico for apresentado em metros cúbicos de madeira empilhada (estéreos) por tonelada de celulose, as diferenças ficam maiores e bem piores para as toras finas. Isso acontece em função dos altos valores de fator de empilhamento, que é algo caraterístico das toras finas, como já mencionado.

- Em muitas situações, menciona-se que o custo de produção de uma tonelada de celulose de eucalipto aumenta com o aumento da proporção de toras finas na alimentação das fábricas kraft. Mesmo assim, é recomendável analisar se esse ligeiro aumento de custo não possa ser absorvido pela empresa por representar menores necessidades de área a plantar de florestas para abastecer a unidade industrial, aumentando assim outros custos em outras áreas.

Enfim amigos, cada situação para uso maior ou menor de toras finas tem suas próprias peculiaridades e merece ser perfeitamente avaliada não com foco apenas na área florestal, ou apenas na linha de fibras, mas sim na empresa como um todo.

==========

Colher florestas para uso industrial não é algo tão simples que seja planejado apenas dos gabinetes de escritório e nos computadores.

É preciso *conversar* com as florestas, com as árvores e com máquinas e pessoas.

A ecoeficiência é a ciência que trata de garantir o melhor uso dos recursos naturais pela sociedade humana.

UTILIZAÇÃO DO TOCO, CEPA, TOUÇA COM RAÍZES GROSSAS

Cepa, touça ou toco remanescente de uma árvore de eucalipto após colheita

O que existe das árvores abaixo do solo pode causar surpresas e até muitas expectativas de mais matéria-prima a partir das mesmas florestas

Os tocos ou cepas consistem no conjunto de raízes, colo e parte inicial do tronco aéreo das árvores que acabaram permanecendo na floresta por deficiências das operações de colheita. Esses tocos têm

sido, até o momento, considerados por produtores rurais e agricultores como um dos principais legados negativos das florestas plantadas, pois dificultam o uso posterior do solo, até mesmo para a silvicultura. Eles são considerados como atrapalhações para o preparo do solo e para o novo uso agrícola e silvicultural da área.

Eventualmente, a floresta de eucalipto pode ser conduzida pelo manejo de brotações para regenerar uma nova floresta a partir das cepas. Como consequência, os tocos que sobrarão na próxima colheita serão maiores em dimensões, mais densos e de formatos ainda mais irregulares.

Conforme a mesma floresta de eucalipto renda rotações e colheitas adicionais, as cepas ou tocos terão seus problemas magnificados em função do aumento do peso, volume e formato irregular dos mesmos, que ficarão cada vez mais difíceis de serem removidos do solo.

O problema de tocos acontece com outras espécies florestais que são plantadas para fins comerciais e, quando colhidas, também deixam seus tocos após a colheita. Alguns são capazes de brotar e regenerar a floresta, conforme a espécie florestal, outros não.

De qualquer maneira, os residuais de tocos "enterrados" no solo sempre podem se constituir em motivo de lamentações pelos usuários e proprietários das áreas rurais.

Para facilitar o entendimento do que seja um toco deixado no solo após a colheita da floresta, pode-se dizer que ele seja o resultado do somatório de diversas partes da árvore, mantendo casca e xilema como componentes principais.

As partes das árvores dos eucaliptos, que compõem qualquer toco extraído do solo e contendo raízes, são as seguintes:

- A parte mais baixa do tronco com uma altura em relação ao solo, que varia geralmente entre 5 a 20 cm, conforme a qualidade da colheita, a idade da árvore e o número de rotações.

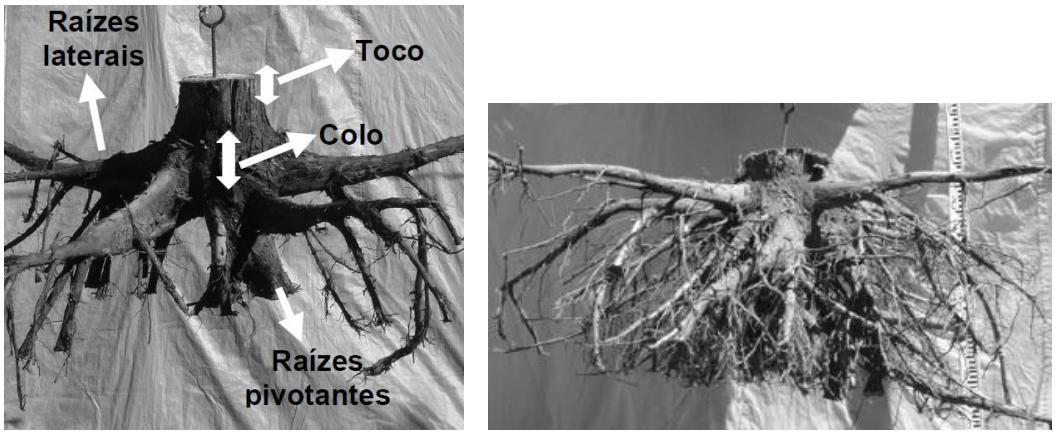
- O colo da árvore, que é a região de transição entre a parte aérea do tronco e a parte subterrânea das raízes principais.

- As raízes pivotantes ou axiais, que são raízes grossas, que saem diretamente do colo e se aprofundam no solo com a finalidade de dar sustentação e ancoragem à árvore. Essas raízes representam

mais de 50% do peso total de raízes e são as mais visíveis e mais facilmente removidas com o toco. As raízes pivotantes podem atingir profundidades de até 10 ou mais metros, mas a maior parte de seus pesos está concentrada nos primeiros 1,5 metros de profundidade no solo.

- As raízes laterais ou fasciculadas são as que se colocam lateralmente às raízes pivotantes, tendo uma posição entre a verticalidade e a horizontalidade em relação à superfície do solo. Ocorrem principalmente em árvores clonais, que não possuem uma mensagem embrionária para formação de raízes pivotantes típicas, embora algumas dessas raízes acabem tomando a função de pivotantes (e até mesmo seus formatos). Essas raízes laterais são mais abundantes em profundidades entre 0,5 a 3 metros.

- As raízes finas (diâmetros inferiores a 2 mm) que se distribuem principalmente nos primeiros 30 cm do solo e cuja função é absorver água e nutrientes resultantes da decomposição da serapilheira ou manta orgânica de restos vegetais sobre o solo. Raramente essas raízes finas conseguem ser muito extraídas quando os tocos são arrancados do solo.



Sistema radicular (Fonte: Buscarato, 2007)

O sistema radicular das árvores possui então dupla missão: ancorar e sustentar a árvore e absorver água e nutrientes do solo (seiva mineral).

O sistema radicular de uma árvore pode representar entre 12 a 20% do peso seco total da biomassa da árvore. Quanto maior for a árvore, mais pesado é o sistema radicular, porém, geralmente menor é a relação percentual entre o peso seco de raízes e o peso seco total da

árvore. Isso porque cresce muito a participação do tronco no peso total da biomassa aérea, com redução da participação dos demais componentes arbóreos, como já visto.

A quantidade e os tipos de raízes em uma planta dependem de:

- Espécie florestal;
- Genótipo;
- Tipo de mudas plantadas: seminal ou clonal;
- Idade;
- Espaçamento;
- Dimensão das árvores (alta relação com o diâmetro da base da árvore);
- Número de rotações ou de colheitas que o mesmo sistema radicular suportou;
- Características do solo: textura, profundidade, compactação, umidade, fertilidade, densidade, aeração, etc.

Pode-se dizer, de forma prática, que o toco é a parte da árvore que sobra após a colheita da mesma e que consiste basicamente das raízes e da fração de tronco que sobrou como residual do abate.

Quando um toco é arrancado do solo, ele não consegue sair integralmente, mesmo que sejam utilizados sofisticados sistemas de extração. Pelas dificuldades de remoção do material interno ao solo, quando se aplicam as forças para extração do toco, muitas raízes se rompem e permanecem no solo. Por isso, raramente se extraem materiais que se encontram em profundidades maiores que um metro.

Toco extraído de plantação clonal de eucalipto colhida aos 7 anos

Os tocos são materiais desuniformes e muito sujos de terra. Essa parte da árvore é rica em cerne, possui alto teor de extrativos e densidades básicas mais elevadas. A casca sempre estará presente junto ao xilema, pois não existem ainda equipamentos que permitam separação econômica de madeira da casca para os tocos.

Os tocos são partes vitais de quaisquer árvores, eles sempre existirão e representam frações muito importantes da biomassa seca de qualquer espécie arbórea.

Uma das principais características de um toco arrancado de um solo é a grande quantidade de terra que sai aderida firmemente às raízes. O teor de cinzas de um toco costuma ser bastante alto, muito mais pela presença de terra do que pela participação das cinzas intrínsecas da constituição elementar de sua biomassa seca. Dessa forma, enquanto o material limpo de toco possa ter algo como 0,8 a 2% de cinzas, o material contaminado com terra pode ter entre 3 a 10% de materiais inorgânicos em sua constituição.

As dimensões, pesos e formatos dos tocos extraídos do solo costumam ser muito variados e dependem de uma série de fatores, alguns já apresentados:

- Espécie florestal;
- Idade da árvore;
- Diâmetro do tronco;
- Tipo de floresta (clonal ou seminal);
- Altura de corte da árvore colhida (residual de tronco por corte alto da mesma);
- Tempo decorrido entre a colheita das árvores e a destoca mecanizada;
- Equipamento utilizado para a destoca (serra tubular, pinçadeira mecânica, retroescavadeira, destocador, etc.);
- Características do solo (principalmente umidade, compactação e textura);
- Número de rotações que o sistema radicular suportou antes da extração do toco.

Em condições normais da moderna silvicultura brasileira, os tocos de eucalipto costumam mostrar entre 15 a 35 kg de material seco por unidade de toco extraída do solo. Entretanto, quando se extraem tocos de árvores mais velhas ou submetidas a continuadas rotações e colheitas, podem ser encontradas situações onde o peso seco de cada toco varia entre 60 a 100 kg de peso seco.

Povoamentos de eucaliptos, com idades entre 6 a 8 anos oferecem o potencial para extração de 17 a 35 toneladas absolutamente secas de material de tocos (cepas com raízes grossas) por hectare. Isso representa algo entre 12 a 25% de biomassa em relação à biomassa oferecida pelo tronco comercial da árvore. É por essa razão, de abundância de biomassa que atualmente não vem sendo aproveitada, que a extração dos tocos residuais das florestas de eucalipto passou a ser vista como uma nova e excelente oportunidade para a produção da silvicultura.

Entretanto, essa é uma situação nova e que exige muitas cautelas, tanto ambientais, como econômicas e também de destinação adequada ao possível material que vier a ser extraído. Todos devem ficar cientes que existem impactos ao solo e aos recursos hídricos que deverão ser mitigados. Também deve ficar claro que o material de tocos é irregular, rico em cinzas e casca e tem possibilidades de trazer benefícios, mas também novas atrapalhações, agora na área industrial das empresas que vierem a se interessar pelo seu uso.

Independentemente da contaminação com terra e casca que possam apresentar, bem como das dificuldades para extração, fragmentação e limpeza, os tocos das árvores de eucalipto passaram a ser considerados como significativas fontes adicionais de biomassa que as florestas podem oferecer.

Até existem os que acreditam que essa biomassa será grátis, sem custos adicionais na silvicultura, mas esse tipo de pensamento é enganoso, pois as fertilizações em plantações subsequentes deverão tentar obrigatoriamente repor as exportações dos nutrientes removidos junto aos tocos. Da mesma forma que as práticas de combate à erosão e de proteção aos mananciais de água.

Isso para manter a capacidade produtiva da área florestal em questão.

Gigantescos tocos de árvores velhas de eucalipto submetidas a sucessivas rotações

Tocos não são privilégios apenas dos eucaliptos

A mais fácil opção para uso industrial dos tocos seria como biomassa energética para queima e geração de calor, vapor e eletricidade. Os tocos podem ser fragmentados em cavacos, que após classificação e limpeza, são oferecidos para queima em uma caldeira de biomassa, junto a outros tipos de biomassa: cascas, cavacos obtidos de toras, resíduos florestais, etc.

A conversão dos tocos em cavacos permite uniformizar o material em dimensões e teor de umidade, bem como facilita a remoção de contaminantes, como terra, serapilheira, pedras, etc. Com essas operações, consegue-se atingir valores entre 2 a 4% de cinzas sobre a biomassa seca de tocos, o que a torna razoavelmente aceitável para queima em caldeiras de biomassa, em especial nas de leito fluidizado. Lembrar que as cascas das árvores do eucalipto já são regularmente queimadas em caldeiras de biomassa e que essas cascas possuem teores de cinzas que variam entre 3 a 6%.

O poder calorífico inferior dos cavacos obtidos de tocos de eucaliptos apresenta valores médios muito parecidos aos da madeira do tronco, entre 4.300 a 4.500 Mcal/tonelada seca. Em relação à casca energética dos troncos aéreos, a biomassa dos tocos é até mais indicada, pois ela oferece mais calorias em função da presença de madeira densa e rica em extrativos.

O material de tocos parece se constituir em biomassa energética de bom potencial em função da presença de madeira rica em cerne, extrativos e lignina, sendo que o teor médio de carbono que vem sendo relatado para essa biomassa é algo próximo a 50%. Os valores mais usuais para a madeira do eucalipto é de 48% de carbono e da casca de 44%.

Outra vantagem da biomassa dos tocos é que ela é relativamente seca, com teores de umidade entre 30 a 40%. Isso acontece porque a extração dos tocos só costuma acontecer pouco antes das operações de silvicultura para reforma da área de florestas. Isso pode significar entre 90 a 180 dias após a colheita.

Quando se for fazer a remoção do toco para uso industrial é recomendável se evitar que ele permaneça vivo e vegetativamente ativo, e isso se consegue com aplicação de herbicidas específicos para matar as gemas que brotariam da cepa.

Apesar de não existirem muitos estudos publicados sobre as características físicas, anatômicas e químicas dos materiais dos tocos de eucalipto, já existem alguns estudos que fornecem indicações de suas qualidades e possíveis desempenhos para geração de energia e até mesmo para produção de celulose kraft.

Deve ficar claro aos potenciais interessados, que mesmo que as avaliações da qualidade da madeira isolada dos tocos mostrem bons potenciais, dificilmente será possível usar só a madeira dos mesmos. A casca dos tocos deverá fazer parte do material para uso industrial, na maior parte do que existe de casca envolvendo as raízes e o residual de caule. Por isso, recomendamos que as avaliações de qualidade e potencialidade dos tocos sejam realizadas também e preferencialmente com o material integral dos mesmos. Definitivamente, da mesma forma como acontece com os galhos e toras finas das árvores de eucalipto, os tocos para uso industrial devem ser considerados mais como materiais contendo do que não contendo casca.

As principais características da biomassa lenhosa mista dos tocos, em avaliações feitas em cavacos obtidos pela fragmentação dos mesmos, são as seguintes:

- Densidade básica ligeiramente superior em relação à densidade básica média das árvores correspondentes. Isso se deve ao fato de que a região do colo das árvores de eucalipto é uma das que apresentam os mais altos valores de densidade básica ao longo da árvore em sua parte aérea. Essa madeira da base da árvore se adensa e se fortalece com extrativos para dar resistência à ancoragem da mesma no solo.

- O teor de elementos minerais referidos como cinzas varia entre 0,8 a 1,5% no material limpo e isento de terra. Porém, nos materiais extraídos e contaminados com terra, esses valores podem variar entre 3 a até 20%, esses últimos em situações excepcionais de extração através de meios inadequados.

- Teores de extrativos totais bastante superiores aos encontrados no xilema dos troncos, principalmente pela maior quantidade de extrativos em solventes orgânicos (como etanol e etanol/tolueno). São relatados valores de extrativos totais entre 10 a 15% para o material de tocos, enquanto a madeira do tronco dos eucaliptos possui entre 3 a 5%.

- Teores totais de lignina (base material isento de extrativos) ligeiramente superiores (2 a 4% base material absolutamente seco maiores do que os encontrados em madeira do tronco).

Anatomicamente, as fibras celulósicas do material do toco consistem em uma mistura de fibras de lenho e de casca. O comprimento médio dessas fibras não difere do que se encontra normalmente para as fibras de madeira do tronco (entre 0,8 a 0,9 mm). Entretanto, em função da maior densidade desse material de toco, as espessuras de parede são maiores (entre 4 a 7 micrômetros) e as fibras são individualmente mais pesadas. Isso conduz a polpas celulósicas com maiores valores de "coarseness" (entre 8 a 10 mg/100 m, contra 6 a 8 para madeira de tronco). Especula-se que em função dessas características, as fibras celulósicas kraft obtidas de tocos devem ser mais rígidas, mais resistentes às deformações do tipo "curl" e "kinks".

A polpação kraft do material de tocos também tem sido encarada como uma possibilidade potencial de se aumentar a produção de celulose a partir de um mesmo hectare de floresta plantada de

eucalipto. Atualmente, relatam-se produtividades equivalentes de 10 a 13 toneladas de celulose kraft branqueada por hectare.ano. Com a utilização dos tocos, esses valores poderiam eventualmente aumentar em pelo menos 10%, ou até mais, em relação aos valores atuais.

Como o processo kraft é bastante flexível em deslignificar materiais lenhosos diversos, as possibilidades para esse tipo de polpação a partir de tocos vêm sendo estudadas pelos pesquisadores em universidades e em empresas do setor.

Existem potenciais de aumento de peso de celulose produzido por hectare, mas existem alguns pontos críticos a aperfeiçoar:

- O maior nível de sujeiras e contaminações nas polpas;

- O menor rendimento na polpação do material de tocos pela presença da casca e dos maiores teores de extrativos e lignina. Rendimentos da polpação kraft têm sido relatados como sendo de 42 a 44%, bastante inferiores aos obtidos para lenhos do tronco.

- O consumo de álcali ativo e as condições mais drásticas de cozimento podem sugerir que esses materiais sejam deslignificados em separado, em digestores auxiliares. Isso para evitar se degradar a polpa obtida de cavacos de madeira de tronco, se deslignificados de forma conjunta com os cavacos de toco.

- A branqueabilidade pode ser mais difícil e onerosa, pelo maior consumo de reagentes e perdas de fibras pela depuração extra.

- Potencialidade de menor nível de viscosidade nas polpas não branqueadas e branqueadas.

- Menores níveis de resistências mecânicas nas polpas, embora algumas propriedades como volume específico aparente e porosidade possam ser melhoradas pelos mais altos valores de "coarseness".

Com suas vantagens e desvantagens conhecidas, os tocos extraídos das florestas de eucaliptos passam a ser considerados como possível fonte de abastecimento adicional nas futuras fábricas de celulose, quer seja para polpação kraft ou para geração de energia. Também não se pode esquecer que as futuras biorrefinarias integradas estarão ávidas por mais biomassa e os tocos também poderão suprir essas necessidades.

Caso a opção de uso seja para fins energéticos, como já vem ocorrendo na indústria brasileira de celulose de mercado, os processos e as exigências em relação aos tocos das árvores serão mais simples. Entretanto, caso o objetivo seja a utilização na polpação kraft, ainda se fazem necessários estudos de adequação para que isso venha a ser efetivado. Essas necessidades de estudos são essenciais, quer seja para polpação conjunta aos cavacos usuais de madeira de tronco, como para processos de polpação individualizada e ações subsequentes.

Já as biorrefinarias também estão levando em conta a produção de alguns tipos de substâncias de alto valor agregado a serem obtidas dos extrativos orgânicos presentes nos tocos. Sabe-se que diversos polifenóis e flavonoides presentes nas raízes mostram potenciais de utilização como fármacos ou como biocidas.

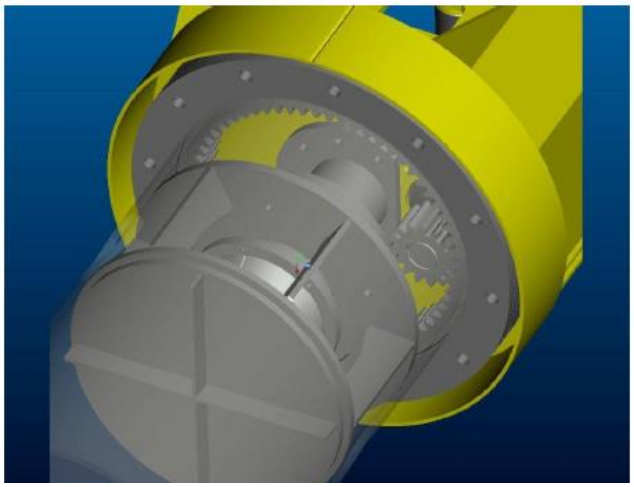
O processo de destoca na prática

Picador de tocos
(Fonte: Villarroel, 2017)

Atualmente, existem diversos equipamentos, a maioria em processo de aperfeiçoamento, para rebaixar a altura dos tocos até o nível do solo, ou para extrair os tocos do solo com o uso de altas forças mecânicas.

As principais formas, usualmente empregadas na extração de tocos do solo, são as que se seguem:

- Serras tubulares, que cortam as raízes e extraem um cilindro de material ao redor da cepa remanescente após colheita. Apesar de terem rendimentos de destoca mais baixos, as serras tubulares fazem menor agressão à estrutura do solo, pois deixam apenas um buraco no solo, ligeiramente maior do que o diâmetro do toco. Esse buraco acaba sendo utilizado como cova para a plantação de nova floresta, restaurando assim a população original da floresta antiga na nova floresta sendo plantada.



Serra tubular destocadora
(Fonte: Casselli, 2013)

Superfície do solo após remoção de tocos com serra tubular
(Fonte: Casselli, 2013)

- Escavadoras ou escavadeiras, que usam da força mecânica de uma lança com uma garra adaptada para extração dos tocos por forte ação mecânica.

Garra destocadora que pode ser acoplada a uma retroescavadeira
(Fonte: Casselli, 2013)

Superfície do solo após remoção de tocos com escavadeira
(Fonte: Casselli, 2013)

- Pinças mecânicas, com excelentes rendimentos e altas efetividades na remoção dos tocos por içamento mecânico dos mesmos.

Pinça destocadora Pallari
(Fonte: O. Tikkanen, 2017)

Os rendimentos desses equipamentos são muito variados, conforme os tipos de tocos e as condições do terreno e do solo. Por outro lado, já existem máquinas bem interessantes e que operam com bons rendimentos, o que vem estimulando a introdução dessa prática florestal de destoca para possibilitar o uso industrial dos tocos.

Muitas vezes a processo é tão drástico que as raízes se partem durante a destoca

Na maioria dos casos, os técnicos florestais consideram que a destoca permite um preparo inicial do solo para a reforma do povoamento, ou seja, se gasta com a destoca para remoção dos tocos e se economiza na preparação do solo pela área de silvicultura.

A extração dos tocos costuma ser seguida de um fragmentador de tocos para reduzir os tocos de formato irregular em peças de madeira que lembram cavacos irregulares, mas muito mais uniformes do que os tocos e muito apropriados para serem facilmente manuseados.

Esses picadores ou fragmentadores de tocos são equipamentos robustos que podem ser acoplados a uma unidade de classificação dos cavacos para remoção de terra, finos e partículas grosseiras (lascas, pedras, etc.).

Em adição à fragmentação e classificação dos cavacos no campo, pode-se refazer a operação de limpeza e classificação dos cavacos nas fábricas. Com isso, minimizam-se os problemas que as partículas de solo e pedras poderiam introduzir nas operações industriais. Em caso de uso dos cavacos de tocos para a polpação kraft, os cavacos podem inclusive serem lavados para melhorar a qualidade dos mesmos e facilitar a deslignificação posterior.

Existem alternativas diversas para esses cavacos, que podem ser simplesmente misturados por dosagem pré-estabelecida aos cavacos normais obtidos de madeira de fuste, ou serem processados em operações cativas.

O "mix" de cavacos de tocos aos cavacos normais de madeira de tronco permite diluição dos efeitos negativos, mas existirão limites de adição que deverão ser respeitados e conhecidos, caso a caso, para evitar piorar toda a operação industrial.

Levar os tocos para as fábricas, para proceder a sua limpeza e fragmentação nas mesmas, raramente é uma alternativa sendo considerada. A principal razão consiste na dificuldade de se manusear, transportar e estocar os tocos, frente à enorme irregularidade de sua forma e dimensões.

Exatamente por essas razões de variações em formatos e pesos/volumes dos tocos, dá-se preferência ao uso de fragmentadores de tambor e não ao de picadores de discos para a redução dos tocos em cavacos ou fragmentos de madeira. Os cavacos, sendo produzidos e classificados no campo, podem abastecer carretas e caminhões especializados para transporte de produtos a granel e encaminhados às fábricas usuárias.

Um problema frequente dessas operações florestais com destoca, fragmentação e classificação dos cavacos é o rápido desgaste das máquinas, pois a presença de terra (areia, argila, pedras) é alta, e isso favorece a abrasão. Outro problema consiste na variabilidade dos tocos, que podem variar entre clones e em um mesmo clone, mas também entre talhões e dentro do próprio talhão.

Finalmente, e talvez um dos pontos mais críticos dessa extração de tocos, consiste na necessidade de se garantir qualidade ambiental e sustentabilidade para a produtividade futura dessas áreas destocadas. Essa operação, da mesma forma que o uso de outras partes das árvores, como galhos e ponteiros, deverá ter forte impacto no solo e na ciclagem de nutrientes.

As vantagens para o setor florestal são vistas com boas expectativas, como maior produção efetiva de biomassa florestal por área plantada e menor necessidade de áreas plantadas para suprimento de unidades industriais.

Entretanto, os impactos sobre o ambiente florestal são evidentes e de grande magnitude. Há necessidade de muitos estudos, pesquisas e grande responsabilidade por parte dos plantadores de florestas e dos usuários dos tocos como produtos dessas florestas.

Entre os efeitos negativos que precisarão ser minimizados, destacam-se os seguintes:

- Erosão, desestruturação, desnudamento, compactação e perda de fertilidade dos solos;
- Redução na fixação de carbono pelo solo florestal;
- Arraste de sedimentos para os recursos hídricos;
- Reflexos negativos na liberação de água do ambiente florestal para os recursos hídricos;
- Exportação de nutrientes pela biomassa removida adicionalmente, com redução na ciclagem dos mesmos;
- Redução da população e diversidade da biota do solo, em especial fungos apodrecedores, bactérias, micorrizas, insetos, etc.

Sustentabilidade deve ser compromisso e não somente discurso

A riqueza das florestas plantadas não pode ser entendida apenas como a produção de biomassa no curto prazo, mas como sua capacidade de se manter produtiva e efetiva em oferecer serviços à sociedade humana e aos outros componentes bióticos e abióticos do ecossistema florestal.

A sustentabilidade desses ecossistemas é algo a ser garantido para que no futuro esses recursos mantenham suas virtudes ambientais, sociais e econômicas.

Sem isso, a eucaliptocultura perderá espaço em sua aceitação como algo positivo e necessário para a sociedade humana em direção ao seu futuro sustentável.

Qual o destino futuro de nossas árvores?
Quais destinos sustentáveis deverão ser criados para elas?

FLORESTAS RECICLADORAS DE CARBONO E NUTRIENTES

Área sendo restaurada pela deposição de resíduos florestais aplicados como "mulching" ou manta orgânica sobre a superfície do solo

Um conceito bastante criativo e interessante vem sendo desenvolvido pelo pesquisador da Embrapa Florestas em Colombo, Paraná. Trata-se da incorporação de biomassa produzida por florestas plantadas na forma de uma adubação verde sobre a superfície do solo. O criador desse conceito e responsável pelos estudos é o engenheiro agrônomo e doutor em genética Estefano Paludzyszyn Filho, que tem buscado melhorar a qualidade dos solos pela incorporação de grandes quantidades de biomassa florestal sobre a superfície dos mesmos.

Basicamente, o conceito envolve a produção de grandes quantidades de biomassa vegetal pelos plantios de árvores em povoamentos mais adensados e depois, em idades ainda jovens da floresta plantada (18 a 36 meses), promove-se a picagem e distribuição do material fragmentado sobre o solo para que seja decomposto, ciclando nutrientes para as suas camadas superficiais. Ao mesmo tempo, o solo fica protegido contra a erosão, reduzem-se as variações térmicas e o ressecamento, fixa-se carbono orgânico e ativa-se o crescimento da biota, favorecendo a microvida e os sistemas biológicos associados a ela.

Trata-se em verdade de uma adubação verde usando florestas plantadas, sendo que se deve procurar privilegiar as espécies grandes produtoras de biomassa, e eventualmente espécies que sejam nitrificadoras por suas associações com bactérias fixadoras de

nitrogênio, como algumas leguminosas arbóreas (acácia negra e bracatinga, como exemplos).

No caso dos eucaliptos, a vantagem principal é que as cepas após a primeira atividade de incorporação poderão brotar e permitir que novas ações de incorporação de biomassa sejam realizadas em novos ciclos dessa atividade. O pesquisador da Embrapa Florestas tem procurado trabalhar com clones ou espécies ricas em folhas (exemplo: *Corymbia torelliana*), pois as folhas são muito ricas em nitrogênio, um dos elementos mais carentes nos solos brasileiros. Outra vantagem dos eucaliptos é o potencial de associações micorrízicas que ajudam na fixação de fósforo pela biomassa vegetal, sendo que na reciclagem esse fósforo passa a ser também disponibilizado para as camadas agricultáveis do solo.

A riqueza em folhas do clone experimental brs 605, obtido a partir de cruzamentos naturais em *Corymbia torelliana* em Rio Verde, GO.

Material fragmentado por colheitadeira florestal para incorporação no solo

==========

"UTILIZAÇÃO DA ÁRVORE INTEGRAL" SOB O ENFOQUE DA SUSTENTABILIDADE

Uma floresta plantada só pode ser considerada como uma fonte permanente de recursos para a sociedade humana quando forem respeitados os princípios conservacionistas, preventivos, mitigadores e compensatórios relativos às qualidades dos solos, recursos hídricos, ar, biodiversidade e qualidade de vida das pessoas a ela relacionadas.

A produção contínua e intensa de uma área florestal pode causar impactos acumulativos sobre os recursos naturais desse ecossistema, e com isso, prejudicar a sustentabilidade da capacidade produtiva desse sítio.

As principais causas para a redução desse tipo de sustentabilidade são as seguintes:

- Simplificação exagerada do ambiente natural (monocultivos intensivos constantes, utilização de poucos clones extremamente domesticados, planejamento inapropriado dos ecomosaicos florestais, redução das fontes de água, mau uso do solo, etc.);

- Redução da oferta de nutrientes, água e energia para os diversos tipos e organismos vivos que vivem nesse ecossistema florestal;

- Exportação contínua das riquezas nutricionais desse ambiente, sem preocupação com a reposição adequada, o que pode muito bem caracterizar alguns tipos de sistemas que se valem da colheita da árvore integral;

- Manejo inadequado das florestas plantadas, com intensa atividade antrópica sobre as áreas de florestas plantadas;

- Impactos drásticos sobre o mágico processo de ciclagem dos nutrientes, que apesar de conhecido e admirado, é pouco respeitado por muitos produtores de florestas plantadas;

- Impactos sobre a conservação de água nas microbacias ocupadas e influenciadas pelas plantações de florestas.

Sabe-se que nos primeiros dois anos de vida de uma floresta de eucalipto, a copa das árvores representa um percentual grande do peso seco de toda a biomassa aérea da floresta, algo como 35 a 60%, dependendo das dimensões, idades e espécies dessas árvores. Na medida em que as árvores ficam mais velhas e crescem, partes significativas das copas vão sendo gradualmente lançadas ao solo na forma de uma rica e densa manta orgânica, ou serapilheira. Existe também uma constante troca de folhas e casca nas árvores, que ajudam para que essa queda de biomassa sobre os solos seja de algo em muitos casos superior a 6 toneladas de matéria orgânica base seca por ano.

Conforme a floresta cresce, formando grandes volumes de tronco, a proporção de copa diminui, atingindo valores entre 7 a 12% do peso seco da biomassa total da árvore.

Essa copa, agora proporcionalmente muito menor, é responsável por magníficos fenômenos naturais devido à fisiologia dessas árvores: fotossíntese nas folhas; bombeamento de água graças às forças exercidas pela transpiração da planta sobre os fluxos de água no interior da árvore; perda de folhas e galhos, que caem sobre o solo para serem decompostos naturalmente; captação da luz e da água das chuvas pelo poder de interceptação das copas; sombreamento do solo para reduzir variações térmicas no mesmo; etc.

As folhas, os ramos mais grossos, os ponteiros, os galhos finos, as flores, os frutos e as sementes – tudo isso compõe a copa das árvores. Em uma floresta adulta de eucalipto com 7 anos, a copa pode representar algo como 15 a 25 toneladas de matéria orgânica, em base seca, por hectare.

A casca das árvores é outro tipo de biomassa abundante, que pode representar entre 5 a 7% do peso seco da biomassa total da floresta em idade comercial. Por outro lado, as raízes que se aprofundam no solo e se manifestam na superfície como o toco que permanece após a colheita, também representam grandes quantidades de biomassa florestal, entre 20 a 35 t a.s. em tocos/hectare quando a árvore é colhida aos 7 anos.

Todos esses componentes que se somam para formar o peso total das árvores de uma floresta de eucalipto não são estáticos. Todos eles participam de magníficos processos metabólicos, cada um deles colaborando para que a floresta cresça, desenvolva, interaja e coopere com a saúde do ecossistema em que se insere.

Um desses processos mais mágicos e notáveis é a ciclagem dos nutrientes, quando as partes que morrem e caem aos solos a partir das árvores sofrem biodeterioração pela microvida do solo. Com isso, liberam nutrientes nelas contidos para novo aproveitamento pelas plantas e animais que habitam esse ecossistema. Também o húmus, resultante dessa decomposição, se acumula nas camadas superficiais do solo, colaborando na captação e retenção de água e de nutrientes. Tudo isso dá vida ao solo – a floresta viva colaborando com a sua própria vida e com a vida de outros organismos nesse ambiente maravilhoso.

Enfim, tudo é mágico em uma floresta plantada em suas interações ecofisiológicas. São diversos os autores brasileiros que têm mostrado (e demonstrado) essas muitas verdades sobre as árvores das florestas plantadas dos eucaliptos. Ficam, através da menção de seus nomes, o meu reconhecimento e agradecimento pelo muito que descobriram e estão descobrindo sobre a fisiologia e ecologia das florestas de eucalipto. São eles: Fábio Poggiani; Mauro Valdir Schumacher, Walter de Paula Lima, José Leonardo de Moraes Gonçalves; José Luiz Stape, dentre muitos outros. Muito obrigado pelo muito que agregaram de conhecimento sobre essas florestas para que as possamos produzir melhor e nos beneficiar de forma sustentável e responsável dos recursos que elas criam em benefício da sociedade.

Portanto amigos, respeitar e proteger esses ecossistemas mágicos, onde muita coisa boa acontece, é nossa missão. Quanto maior for nosso respeito e melhores as nossas ações para a sustentabilidade desses sítios, mais estaremos fazendo para que as futuras gerações de plantas, animais e pessoas se beneficiem disso e sejam também produtivas e felizes.

A remoção da maior parte da biomassa florestal em sistemas de utilização da árvore integral (ou semi-integral) poderá apresentar maiores níveis de impactos sobre todos esses processos que acabei de

lhes relatar. Conforme as partes das árvores que forem removidas como biomassa e conforme as medidas mitigadoras e protecionistas tomadas, poderemos ter níveis muito variados de impactos. Alguns podem ser plenamente absorvidos e compensados, outros jamais. Isso vai depender muito mais de nós humanos do que das árvores dos eucaliptos presentes na floresta plantada.

Dentre as medidas conservacionistas podem ser citadas as relacionadas à proteção dos solos contra a erosão, compactação, desestruturação, perda de fertilidade, etc. Também se enquadram ai as avaliações e acompanhamentos das microbacias para proteção dos mananciais e recursos hídricos.

Dentre as medidas mitigadoras e compensatórias estão a fertilização dos solos para restauração do banco de nutrientes e de carbono orgânico do solo. Até mesmo resíduos das fábricas como as cinzas residuais das caldeiras de força e os lodos orgânicos do tratamento de efluentes podem colaborar com essa melhoria da qualidade dos solos florestais.

Caso a medidas conservacionistas, mitigadoras, prevencionistas e compensatórias não forem realizadas (ou forem mal realizadas), os efeitos sobre o sítio florestal podem ser críticos, e isso pode acontecer em pouquíssimo tempo geológico. Bastam algumas poucas gerações de florestas sendo colhidas integralmente e sem cuidados preservacionistas para que a produtividade florestal possa ser drasticamente reduzida.

Isso seria um legado perverso para as futuras gerações, pois o sítio poderá ficar até mesmo estragado para outras culturas agrícolas e florestais.

O mínimo que eu posso esperar para os usuários dessa biomassa florestal integral (tronco, copa e raízes) é que trabalhem com respeito a esses processos, buscando práticas sustentáveis em todas as suas operações.

Existe muita diversidade de formas de atuação. Alguns produtores florestais até acreditam que estão fazendo "um favor ao removerem completamente as árvores com todos seus componentes", pois deixam a área completamente limpa, já que a biomassa que sobra nas florestas após a colheita acaba sendo considerada por muitos como fatores de atrapalhação para as demais atividades florestais, inclusive para a brotação das cepas. Uma visão imediatista e pouco ambientalista ou ecológica – muitas vezes, por desconhecimento ou burrice, e nada mais.

A remoção de quase todos os componentes vegetais da floresta plantada precisa não apenas de máquinas para fazer esse serviço de

forma eficiente e econômica. Precisa também do estabelecimento de balanços nutricionais e medidas de recomposição da qualidade e fertilidade do solo, dos recursos hídricos e da biodiversidade – pelo menos isso.

Acredito, ou melhor, tenho até certeza, de que a remoção pura e simples de toda a biomassa florestal, sem se repor nutrientes com base em balanços adequados, é até mesmo pior do que a queima que se fazia dos resíduos da colheita pela silvicultura de anos passados. Pelo menos com aquela queima, as cinzas resultantes da mineralização acelerada da biomassa ficavam no solo e não eram exportadas para longe desse ecossistema.

Existem muitos outros efeitos associados com a inadequada exploração florestal predatória, conforme se processam as extrações das árvores integralmente e sem ações protecionistas e mitigadoras.

São efeitos nocivos e prejudicais sobre:

- A microflora e a microfauna dos solos (fungos, bactérias, algas, líquenes, larvas de insetos, crustáceos, aracnídeos, etc.);
- Os animais superiores que se alimentam dos resíduos da colheita e de organismos que vivem na floresta (minhocas, roedores, pássaros, etc.);
- O banco de sementes da área;
- O sub-bosque das florestas, que acaba muitas vezes sendo colhido como matéria-prima ou destruído pela ação antrópica;
- A continuada perda de fertilidade, estruturação, umidade e qualidade dos solos florestais.

Copa/galharia/folhas, tronco (madeira/casca) e raízes são poderosos recursos florestais e econômicos que não podem ser desprezados. Porém, alguns desses componentes são também fontes de enormes riquezas para as novas gerações de florestas e para os demais seres vivos que habitam esses ecossistemas. Quanto maiores forem as remoções dos componentes vegetais das florestas, maiores as chances de se terem impactos cada vez mais perversos.

Dessa forma, as utilizações das partes aéreas das árvores e dos tocos e raízes grossas trazem as seguintes possibilidades de impactos de cunho ambiental:

- Gradual empobrecimento do solo pela exportação de nutrientes, compactação, erosão, ressecamento, oxidação do carbono orgânico, desnudamento, etc.;
- Aumento dos custos com fertilização e monitoramento das perdas e reposições;
- Perdas de produtividade florestal;
- Desequilíbrios entre oferta e consumo de nutrientes, o que pode acelerar a incidência de pragas e doenças. Árvores em desequilíbrio nutricional são mais sensíveis ao ataque de outros organismos.
- Desequilíbrios biológicos entre as diferentes populações de organismos no ecossistema;
- Aumento de competição entre os seres vivos que habitam esse ecossistema.

A maior parte das responsabilidades para compensar isso passará a ser da queda anual de folhedo pelas florestas, para a formação da serapilheira. Essa queda anual de biomassa corresponde em média a 5 a 8 toneladas de biomassa seca por hectare e por ano.

Quanto mais longa for a rotação da floresta, mais serapilheira se depositará e mais espessa e rica será a sua manta sobre o solo.

Portanto, uma das medidas compensatórias para minimizar os efeitos da remoção da árvore integral será se desenvolver um manejo florestal que privilegie a formação e a conservação da serapilheira. Por exemplo, passar a colher as florestas entre 8 a 9 anos seria muito melhor nesse particular do que colher entre 4 a 6 anos de idade.

Haveria muitas outras vantagens associadas à colheita um pouco mais tardia, tais como: maior ciclagem de nutrientes, maior deposição de manta orgânica sobre o solo, menores ações antrópicas, menor compactação do solo, maior proteção contra a erosão, etc. As árvores também teriam maiores dimensões (mais madeira e mais casca por árvore) e a proporção de copa e de raízes poderia ser proporcionalmente menor.

A questão mais crítica será o desenvolvimento de colheita florestal com mínimo impacto sobre a serapilheira, ou até de formas de se aumentar a mesma, deixando alguns tipos de resíduos da colheita florestal sobre ela, como poderia ser o caso de folhas e galhos finos. Assim, mesmo com a colheita florestal mais intensa e remoção de diversos tipos de biomassa florestal, estaríamos garantindo que a ciclagem de nutrientes resistiria e não acabaria. Mesmo em menor grau, ela continuaria a fazer seu meritório e desejado papel para a sustentabilidade florestal.

Como esses resíduos que cobrem os solos das áreas florestais possuem enorme valor ecológico, eles precisariam ser também valorizados pelos usuários dos mesmos. Com esse processo de valorização teríamos maiores oportunidades de conhecer quais podem e quais não deveriam ser removidos para utilização econômica, até mesmo por terem maior valor como fonte de nutrientes do que como matéria-prima industrial.

Portanto, na valorização desses componentes vegetais das florestas, recomendo que passemos a entender melhor o papel ambiental de cada um deles e que se desenvolvam modelos de valorização, que não se baseiem apenas em custos de operações e em valores econômicos nas produções de energia, polpa celulósica, painéis de madeira, etc. Esses valores econômicos são importantes, mas precisam ser complementados pelos valores ambientais de cada tipo de componente vegetal oferecido pela floresta de eucalipto.

Caso haja responsabilidade ambiental e social da empresa usuária das árvores em sua *integralidade total ou parcial*, ela deveria atuar forte nas compensações e mitigações pela extração das mesmas.

A reposição de nutrientes, por exemplo, não se trata apenas de se adicionar o que foi exportado com as partes removidas das árvores (madeira, casca, galhos, tocos, raízes). Há que ser também avaliado o poder de captação pelas árvores desses nutrientes adicionados, pois uma parte desses nutrientes adicionados como fertilizantes se perderá pela chuva, pela infiltração profunda nos solos, pela inativação por fenômenos químicos e biológicos, pela utilização por outros organismos, etc.

Isso tudo posto, toda vez que se decidir usar mais componentes arbóreos das florestas plantadas, sejam troncos e outros de seus componentes, é fundamental se dar respostas a:

Qual tipo de biomassa florestal será extraído pela colheita florestal? Só a madeira? Só o tronco comercial com casca? Toda a biomassa aérea, exceto folhas? Toda a biomassa aérea e também as raízes ou tocos?

Quais as remoções e exportações de nutrientes e de carbono orgânico por cada tipo extraído de biomassa?

Quais os custos envolvidos com a coleta, trituração, preparação, limpeza, manuseio e transporte de cada componente vegetal?

Quais os gastos com a reposição de nutrientes exportados e de aplicação de outras medidas mitigadoras, como adubação verde com leguminosas, aplicação de cinzas de caldeiras e lodos de estações de tratamento de efluentes, etc.?

Quais os tipos de monitoramento que precisarão ser criados para avaliar impactos presentes e futuros?

Quem assim não proceder e se limitar a sair colhendo as árvores em sua integralidade (e nada mais) estará praticando uma silvicultura de rapina, com graves danos a todo o setor brasileiro de base florestal.

Para finalizar essa argumentação toda, lhes ofereço a seguir um quadro demonstrativo das quantidades aproximadas de nutrientes exportados pela colheita florestal de uma floresta de eucalipto aos 7 anos de idade.

Produção de biomassa total da floresta aos 7 anos = 200 t a.s./hectare

Madeira comercial = 150 t a.s./hectare

Casca de tronco comercial = 10 t a.s./hectare

Galharia e ponteiros = 17 t a.s./hectare

Folhas = 6 t a.s./hectare

Raízes e touças = 17 t a.s./hectare

Total de madeira de tronco = 150 t a.s./hectare

Total de outros componentes potenciais na colheita = 50 t a.s./hectare

Exportações de macronutrientes conforme a extração de diferentes componentes da floresta em quilogramas por hectare:

	MACRONUTRIENTES				
	Nitrogênio	**Fósforo**	**Potássio**	**Cálcio**	**Magnésio**
Madeira do tronco	100 - 180	10 - 20	140 - 200	30 - 150	15 - 35
Casca do tronco	20 - 40	3 - 9	50 - 65	40 - 200	15 - 30
Copa (galharia, folhas)	50 - 100	4 - 8	40 - 80	35 - 60	12 - 25
Raízes grossas e cepas	15 - 25	2 - 6	35 - 50	20 - 30	10 - 15
Total da exportação	240 - 280	20 - 30	250 - 350	250 – 350	70 - 90

As extrações de nutrientes estão suportadas por consultas de dados a inúmeros trabalhos publicados e disponíveis na literatura florestal brasileira.

Pode-se perfeitamente entender, a partir dos dados que aparecem para exportações de macronutrientes, que elas não são

pequenas. As exportações aumentam, conforme mais componentes da floresta forem extraídos para usos comerciais e industriais.

Evidentemente, esses números de exportações variarão caso a caso, mas com muita probabilidade estarão dentro das faixas relatadas por esse quadro que lhes mostrei.

O principal fator a determinar se uma exportação será alta, média ou baixa será a quantidade total de biomassa florestal produzida, bem como quais os componentes da floresta que foram removidos para fora dessa área.

Se uma floresta for muito produtiva, ela colaborará para uma maior exportação de nutrientes, pois maiores quantidades de biomassa seca poderão ser removidas. Mesmo que uma floresta plantada seja muito eficiente em uso de nutrientes, com baixos teores de nutrientes em seus tecidos, quanto maior for a sua produtividade, possivelmente maior deverá ser a exportação de seus nutrientes, não apenas de micronutrientes, mas de micro também.

Micronutrientes também são vitais para as plantas e eles estão também presentes na madeira, casca, folhas, raízes, etc.

A literatura sobre ciclagem de micronutrientes não é muito abundante para os eucaliptos, apesar de sua importância. Existem alguns trabalhos que me permitem criar um quadro ilustrativo de potenciais exportações:

Exportações de micronutrientes por extração de biomassas de florestas de eucalipto aos 7 anos, em quilogramas por hectare:

	Tronco (Madeira+ Casca)	**Copa** (Galharia + Folhas)
Ferro	0,7 - 4	1 – 2,5
Cobre	0,3 - 1	0,08 – 0,15
Manganês	2 - 15	2 – 3,5
Boro	1 – 1,5	0,2 – 0,35
Molibdênio	0,01 - 0,02	0,002 – 0,004
Zinco	0,3 – 0,5	0,05 – 0,15

Dediquei todo esse enorme capítulo para lhes oferecer informações sobre o potencial de utilização de diversos componentes das florestas plantadas de eucaliptos.

Nessa seção, me dediquei mais em tentar lhes mostrar impactos ambientais que podem acontecer quando tivermos atuações não muito responsáveis por parte dos plantadores florestais e das empresas mais interessadas nos lucros e receitas de curto prazo do que na sustentabilidade de sua base florestal plantada.

Devemos por isso mesmo, nos esforçar para buscar ações que nos permitam duas coisas ao mesmo tempo: produzir material florestal em quantidades admiradas em nossas florestas e ao mesmo tempo, garantir a sustentabilidade e a capacidade produtiva das novas gerações de florestas e do sítio ambiental onde elas se inserem.

Tomo a liberdade de propor algumas recomendações mínimas para reflexão e orientadas para melhoria desse processo todo:

- Praticar silvicultura responsável, sustentável e certificada conforme as melhores práticas ambientais e florestais;
- Praticar processos de conservação do solo e dos recursos hídricos de maneiras exemplares;
- Restaurar a fertilidade dos solos por fertilização e adição de carbono orgânico, inclusive com a adoção do conceito de florestas recuperadoras de nutrientes e de carbono orgânico;
- Praticar de alguma forma a adubação verde e a rotação de culturas com algumas leguminosas arbóreas (acácias e bracatinga, por exemplo);
- Aumentar o teor de matéria orgânica dos solos, pela incorporação de resíduos orgânicos tais como lodos, etc.;
- Respeitar e garantir a integridade da serapilheira;
- Monitorar os balanços nutricionais de macro e micronutrientes envolvendo sistemas bióticos e abióticos, componentes da biomassa, etc.;
- Selecionar clones de baixa demanda e de baixa acumulação de nutrientes;

- Aumentar a idade de colheita das florestas, para aumentar a efetividade da ciclagem de nutrientes e a deposição maior de serapilheira;

- Monitorar, entender e estimular a microvida do solo;

- Conservar adequadamente as microbacias florestais que estejam sendo utilizadas pelas florestas plantadas;

- Melhorar o planejamento das operações florestais com foco em sustentabilidade;

- Ler e estudar muito o tema de gestão de nutrientes e de matéria orgânica nos solos, associando-os ao uso da biomassa produzida pelas florestas plantadas de eucaliptos.

E assim a vida humana continuará sustentável no planeta Terra

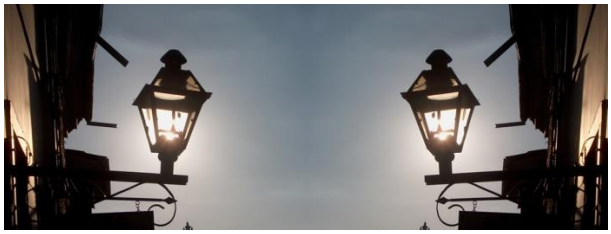
CONSIDERAÇÕES FINAIS

As utilizações para os diversos componentes arbóreos de nossas florestas plantadas de eucalipto podem e devem ser enxergadas como oportunidades técnicas, econômicas e sociais para a geração de benefícios adicionais para a sociedade. As florestas de eucaliptos são grandes produtoras de biomassa e são oportunidades verdes e renováveis para os cidadãos do planeta.

Entretanto, todos aqueles que desejarem se dedicar a esses tipos de utilizações para as árvores em sua integralidade devem estar conscientes de que devem trabalhar com base em práticas de ecoeficiência e sustentabilidade, bem como devem se sentir responsáveis e compromissados para fazerem o melhor possível para melhorar e não piorar o meio ambiente florestal.

Caso isso acabe não acontecendo com a intensidade que merece, preparem-se para enfrentar dificuldades muito maiores no saneamento dos problemas que poderão ser criados pela má gestão dos inúmeros processos de geração e utilização das biomassas florestais.

Estou depositando um voto de confiança acreditando que todos procurarão fazer o melhor que puderem. Para ajudar, estou escrevendo muitas ideias para reflexões nesse capítulo, que além de informar conhecimentos tem a missão de garantir ações e práticas adequadas no uso das árvores de eucalipto de forma mais intensiva.



Boa sorte a todos e obrigado mais uma vez pela atenção que vocês me oferecem para que o Eucalyptus Online Book possa fazer o seu papel em favor dos eucaliptos e da engenharia florestal no Brasil

Para mim, foi um privilégio ter podido escrever e lhes oferecer mais um dos capítulos do **Eucalyptus Online Book**. Esse capítulo foi criado para servir de base conceitual e referencial para engenheiros florestais e técnicos das nossas fábricas do setor de celulose e papel. Espero que ele possa também ajudar aos gestores principais de nossas empresas florestais para que tomem decisões mais fundamentadas para a exploração dessas florestas em maiores níveis de intensidade. Também tem a missão de alertar e esclarecer os técnicos de nossas empresas fabricantes de celulose de seu relevante papel para a boa e adequada utilização das matérias-primas florestais, fazendo bom e ecoeficiente uso das tecnologias que dispõem.

Mais uma vez, agradeço a leitura de vocês, esperando que o que lhes escrevi nesse capítulo tenha sido de alguma utilidade técnica e prática.

Aguardem novidades sobre o tema qualidade da madeira: *minha meta é bastante clara* – quero colocar no ***Eucalyptus Online Book*** um conjunto de capítulos que possam se constituir em *um dos maiores bancos de conhecimentos sobre a qualidade da madeira dos eucaliptos* para ser compartilhado com a sociedade.

REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

Sustentabilidade é algo que se deve buscar sempre no setor de base florestal para qualquer que seja a destinação dos produtos da floresta...

Em especial, no caso de se desejar aproveitar integralmente a biomassa produzida pelas árvores.

As literaturas brasileira e mundial são bastante ricas em artigos, eventos, palestras, teses, dissertações, vídeos, websites e outros tipos de materiais técnicos sobre o uso integral da biomassa florestal. Já não são tão abundantes os estudos sobre outros componentes da árvore além do lenho ou xilema para polpação e produção de celulose para papel ou derivados de celulose.

Dentre as novas oportunidades disponibilizadas para as biomassas florestais, existem potenciais para algumas delas para uso integrado com a madeira do tronco em fábricas de celulose.

O conceito de "utilização da árvore integral" não é completamente claro, pois muitas vezes, uma empresa pode ter uma aplicação de mais de um tipo de biomassa obtida da floresta (por exemplo: madeira e casca), mas não de todas. Ainda que se esteja falando de uso integral do tronco comercial com casca, estamos também considerando esses tipos de aspectos em nossa lista de bibliografias para esse presente capítulo.

Espero que esses artigos possam ser de utilidade a vocês, pois foram escritos por uma ampla e diversificada seleção de autores que atuam no setor de produção, obtenção e utilização de biomassa florestal de eucaliptos

Também acredito que esses conjuntos selecionados de referências somados ao nosso texto desse capítulo poderão ajudar em muito a que qualquer pessoa interessada em conhecer mais sobre a utilização de outras partes da biomassa florestal também para a produção de celulose.

Sustentabilidade no setor florestal – uma exigência

Aproveitem então o que lhes trazemos como literatura para vocês lerem e aprenderem mais sobre isso. São dezenas de artigos e textos escritos por valorosos e qualificados amigos das florestas de eucaliptos e que estão ajudando a construir a história de uma engenharia florestal brasileira sempre focada nas melhores práticas florestais e industriais.

Além disso, e como sempre fazemos, todos os materiais estão fornecidos com seus endereços na web, para facilitar a obtenção e leitura por parte de todos os interessados neles.

Boa navegação e leitura.

Extração de tocos de eucaliptos e o seu aproveitamento de biomassa para energia. L. Couto; E. Carrera. Biomassa BR Energias Renováveis. Acesso em 14.07.2017:

http://www.biomassabr.com/bio/resultadonoticias.asp?id=2542

O estoque de carbono no solo em floresta de eucalipto e ILPF. K. Pulrolnik. Revista Opiniões Florestal nº 43. Acesso em 14.07.2017:

http://florestal.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/5-o-estoque-de-carbono-no-solo-em-floresta-de-euca/

New Holland colhedora FR9060 florestal. Canal Marcase Máquinas. Vídeos Youtube. Acesso em 14.07.2017:

https://www.youtube.com/watch?v=Ad32ikn71Cg

ExpoForest 2014 - New Holland FR9060 colheita de eucalipto - *Eucalyptus* harvesting. Canal Luiz Miotto. Vídeos Youtube. Acesso em 14.07.2017:

https://www.youtube.com/watch?v=zpqlBsmyryo

Whole-tree chipping. RitchieWiki – Everything about Equipment. Acesso em 14.07.2017:

http://www.ritchiewiki.com/wiki/index.php/Whole-tree_Chipping (em Inglês)

Arrancador de tocos Pallari. Implementos Okte. Acesso em 14.07.2017:

http://implementos.okte.com.br/Florestal/Pallari/Destoca%20Eucalipto/Itarare/Arrancador%20de%20toco%20Pallari%20KH-160.mp4 (Vídeo)

e

http://implementos.okte.com.br/Florestal/Pallari/Catalogos%20e%20Brochuras/Pallari%20-%20Destocador%20-%20Geral%20PT-BR.pdf (Catálogo)

Picador florestal Planalto na picagem de árvores de eucalipto. Planalto Picadores. Vídeos YouTube. Acesso em 14.07.2017:

https://www.youtube.com/watch?v=KvBE2nBwlvA

Picador de madeira Fibria de Capão Bonito/SP. Canal Chuck Norris. Vídeos Youtube. Acesso em 14.07.2017:

https://www.youtube.com/watch?v=LVIYWOAmGnE

Picadores Peterson. Website de empresa especializada na fabricação e comercialização de equipamentos para picagem, trituração e fragmentação de materiais de madeira. Acesso em 14.07.2017:

http://pt.petersoncorp.com/products/5000h-whole-tree-chipper/ (Picadores de árvores integrais)

e

http://www.petersoncorp.com/wp-content/uploads/5000H-DataSheet.pdf (Catálogo de picador de árvores integrais)

e

http://pt.petersoncorp.com/products/?type=drum-chippers (Picadores de tambor)

e

http://pt.petersoncorp.com/products/?type=disc-chippers (Picadores de disco)

Picadores florestais Lippel. Canal Lippel. Vídeos YouTube. Acesso em 14.07.2017:

https://www.youtube.com/watch?v=PzD82L1r1UA

e

https://www.youtube.com/watch?v=xV_qOAPB5m0

e

https://www.youtube.com/watch?v=8hJhFV9Jv24

e

https://www.youtube.com/watch?v=fi28g9SZJWM

Biomassa florestal. Operflora. Website de empresa do grupo Columbia especializada em serviços e tecnologias para a biomassa florestal. Acesso em 14.07.2017:

http://www.operflora.com.br/

e

http://www.operflora.com.br/tyrex (Tyrex - equipamento removedor de tocos/cepas)

Bark press. Saalasti Oy. Website de empresa global especializada em prensas para desaguamento, picadores de cascas e demais equipamentos para bioenergia. Acesso em 14.07.2017:

http://www.saalasti.fi/products/saalasti-press-eng (Prensa de casca - em Inglês)

Bark processing. Andritz. Website de empresa global especializada em pátios de madeira. Acesso em 14.07.2017:

http://www.andritz.com/pp-bark-processing (em Inglês)

Hooper bark shredder. Andritz. Website de empresa produtora de equipamentos para preparação da casca como biocombustível. Acesso em 14.07.2017:

https://www.andritz.com/products-and-services/pf-detail.htm?productid=22685 (em Inglês)

Wood handling. Valmet. Website de empresa global especializada em pátios de madeira. Acesso em 14.07.2017:

http://www.valmet.com/services/pulping-and-fiber/wood-handling/ (em Inglês)

Preparo e manuseio da madeira e casca. Demuth Wood Handling. Website de empresa brasileira especializada em pátios de madeira e biomassa. Acesso em 14.07.2017:

http://www.demuth.com.br/segmentos/index.php?id=2

Máquinas Bruno - Máquinas para sistemas florestais. Website de empresa global especializada em sistemas de preparação da biomassa florestal. Acesso em 14.07.2017:

http://www.bruno.com.br/linha-de-produtos (Linha de produtos para a base florestal e reciclagem de resíduos)

e

http://www.bruno.com.br/linha-de-produtos/1/madeira (Linha madeiras)

e

http://www.bruno.com.br/linha-de-produtos/3/florestal (Linha florestal)

e

http://www.bruno.com.br/produto/23/triturador-de-residuos---trb (Triturador de resíduos)

Equipamentos para tratamento de resíduos. Trituração, compactação e embalagem. Siebert. Website de empresa especializada em resíduos energéticos. Acesso em 14.07.2017:

http://www.siebert.com.br/tratamento-de-residuos/

Trituração da casca do eucalipto. Siebert. Vídeos YouTube. Acesso em 14.07.2017:

https://www.youtube.com/watch?v=4ngZaL6kjaM

Picagem de cascas de eucaliptos e *Pinus*. CRReciclados. Vídeos YouTube. Canal Rafael Arteiro. Acesso em 14.07.2017:

https://www.youtube.com/watch?v=xC4Stt2P30o

Biomassa & resíduos de madeira. Vermeer. Website de empresa global especializada em sistemas de preparação da biomassa. Acesso em 14.07.2017:

http://www2.vermeer.com/vermeer/LA/pt/N/industries/biomass (Biomassa)

e

http://www2.vermeer.com/vermeer/LA/pt/N/industries/wood_waste (Preparação de resíduos de madeira com inúmeros catálogos e literatura técnica especializada)

Picador florestal WC2300 Vermeer, para árvores inteiras e resíduos. Canal Vermeer. Vídeos YouTube. Acesso em 14.07.2017:

https://www.youtube.com/watch?v=J94ZaSXTP1c

Trelan whole-tree chipper. Vídeo sobre equipamento móvel Trelan picando árvores inteiras. Acesso em 14.07.2017:

https://www.youtube.com/watch?v=CxW1OXDZkJM (em Inglês)

Bandit Industries. Website de empresa fabricante de equipamentos para remoção de tocos e produção de cavacos e fragmentos de biomassa florestal. Acesso em 14.07.2017:

http://www.williamsequipment.com/custompage.asp?pg=bandit (em Inglês)

Williams Forest Products. Website de empresa fabricante de equipamentos para produção de cavacos e fragmentos de biomassa florestal. Acesso em 14.07.2017:

https://www.williamscrusher.com/forest-products (em Inglês)

Barko. Website de empresa global especializada em picadores para árvores integrais. Acesso em 14.07.2017:

http://www.barko.com/products/whole-tree-chippers/ (em Inglês)

Morbark Industries. Morbark. Website de empresa global especializada em sistemas de preparação da biomassa florestal. Acesso em 14.07.2017:

http://www.morbark.com/ (Website institucional – em Inglês)

e

http://www.morbark.com/industries/forestry-biomass/ (Equipamentos para a indústria florestal e biomassa – em Inglês)

e

http://www.morbark.com/equipment-line/chiparvestors/ (O histórico picador florestal *Chiparvestor* da Morbark - em Inglês)

Motocana – Linha Florestal. Website de empresa brasileira especializada em sistemas de preparação da biomassa sucroalcooleira e florestal. Acesso em 14.07.2017:

http://www.motocana.com.br/2016/produtos.php?linha=florestal

CBI do Brasil. Empresa internacional que produz e comercializa equipamentos destinados a preparação da biomassa florestal. Acesso em 14.07.2017:

http://www.cbi-inc.com/machines-equipment/chippers (Picadores e trituradores - em Inglês)

Fezer. Website de empresa fabricante de uma grande diversidade de máquinas entre as quais picadores, trituradores e repicadores para a base florestal. Acesso em 14.07.2017:

http://www.fezer.com.br/produtos-categorias.php?idc=20#

Jenz Farming – Linha florestal. Website de empresa fabricante de uma grande diversidade de máquinas entre as quais trituradores e equipamentos para logística florestal. Acesso em 14.07.2017:

http://farming-brasil.com.br/category/florestal/

Madeplant Reflorestadora. Website de empresa prestadora de serviços florestais, entre os quais a picagem de biomassa florestal na floresta. Acesso em 14.07.2017:

http://madeplant.com.br/pt/videos/picagem-de-eucalipto-15

Anatomy of stem and root wood of *Pinus radiata* D. Don. R.N. Patel. Forest Research Institute of New Zealand. 13 pp. (2017)

http://www.scionresearch.com/__data/assets/pdf_file/0003/58620/NZJFS11PATEL37_49.pdf (em Inglês)

Utilização da biomassa do eucalipto para produção de calor, vapor e eletricidade. Parte 1: *Biomassa Florestal & Florestas Energéticas*. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 43. 239 pp. (2016)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT43_Florestas_Energeticas_Eucaliptos.pdf

Utilização da biomassa do eucalipto para produção de calor, vapor e eletricidade. Parte 2: *Geração de Calor, Vapor e Eletricidade*. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 44. 264 pp. (2016)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT44_Geracao_Calor_Vapor_Eletricidade.pdf

Utilização da biomassa do eucalipto para produção de calor, vapor e eletricidade. Parte 3: *Resíduos florestais energéticos*. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 45. 235 pp. (2016)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT45_Residuos_Florestais_Energeticos.pdf

Análise da perda de rentabilidade da madeira remanescente em cepas de *Eucalyptus urophylla.* D.S. Luz; L.C. Freitas; I.P. Rocha; M.M. Sousa; T.S. Lopes. IV SEEFLOR – BA – IV Semana de Engenharia Florestal da Bahia. 05 pp. (2016)

http://www.uesb.br/eventos/seeflor/publicacoes/2016/ANALISE%20DA%20PERDA%20DE%20RENTABILIDADE%20DA%20MADEIRA%20REMANESCENTE%20EM%20CEPAS%20DE%20Eucalyptus%20urophylla.pdf

Impacto da qualidade dos cavacos gerados na Fibria unidade Aracruz no processo de polpação kraft. C.R. Soprani. O Papel 77(7): 72 – 77. (2016)

http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1469413374_7ca815cad8d419314639cca58f5140c4_115155996.pdf

Avaliação da qualidade de três diferentes tipos de cavacos de madeira do híbrido *Eucalyptus urophila* x *grandis*. J.M. Soares. Trabalho de Conclusão de Curso. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 47 pp. (2016)

http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/44937/JESSICA%20MACHADO%20SOARES.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Medição da madeira na forma de toras empilhadas. C. Foelkel. Extraído de Eucalyptus Newsletter nº 48. 27 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/news48_Toras_Empilhadas.pdf

Qualidade da madeira do eucalipto - Reflexões acerca da utilização da densidade básica como indicador de qualidade da madeira no setor de base florestal. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 41. 199 pp. (2015)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT41_Densidade_Basica_Madeira.pdf

Qualidade da madeira do eucalipto - Acerca dos acertos e erros na utilização da densidade básica como indicador de qualidade de madeiras. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 42. 177 pp. (2015)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT42_Densidade_Basica_Acertos&Erros.pdf

Qualidade da biomassa florestal do eucalipto para fins energéticos. C. Foelkel. Extraído de Eucalyptus Newsletter nº 49. 33 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/news49_Biomassa_Florestal_Eucalipto.pdf

As biorrefinarias integradas no setor brasileiro de fabricação de celulose e papel de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 29. Revisão 06. 270 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT29_BiorrefinariasCelulosePapel.pdf

Variation of wood and bark density and production in coppiced *Eucalyptus globulus* trees in a second rotation. I. Miranda; H. Pereira. iForest Biogeosciences and Forestry 9: 270 – 275. (2015)

http://www.sisef.it/iforest/pdf/?id=ifor1442-008 (em Inglês)

Benefits and drawbacks of energetic valorisation of *Eucalyptus globulus* stumps by thermochemical processes. F. Pinto; R. André; H. Lopes; D. Neves; F. Varela; J. Santos; M. Miranda. Chemical Engineering Transactions 43: 2449 – 2454. (2015)

http://www.aidic.it/cet/15/43/409.pdf (em Inglês)

Variation in wood pulping and bleached pulp properties along the stem in *Eucalyptus globulus* trees. J. Gominho; A.D.L. Neiva; L. Fernandes; M.E. Amaral; A.P. Duarte; R. Simões; H. Pereira. BioResources 10(4): 7808 – 7816. (2015)

http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/download/BioRes_10_4_7808_Gominho_Wood_Pulping_Bleached_Properties/3900 (em Inglês)

***Eucalyptus* stumpwood as biomass source within a biorefinery.** J. Gominho; A. Lourenço; A.P. Duarte; H. Pereira. 7th ICEP – International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 7 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2015_Stumpwood_7thICEP.pdf

Physical properties and fiber dimension in stem, branch and root of alder wood. M. Kiaei; R.M. Roque. Fresenius Environmental Bulletin 24(1B):335-342. (2015)

https://www.researchgate.net/publication/279323746_Physical_properties_and_fiber_dimension_in_Stem_Branch_and_root_of_Alder_Wood (em Inglês)

Quantificação de biomassa e nutrientes em plantios de *Eucalyptus urograndis* em solos distintos. S.M. Salvador. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 83 pp. (2015)

http://cascavel.ufsm.br/tede//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=7846

Análise técnica de um cavaqueador e caracterização energética de cavacos de biomassa da colheita da madeira. D. Oro.

Dissertação de Mestrado. UNICENTRO – Universidade Estadual do Centro-Oeste. 89 pp. (2015)

http://www2.unicentro.br/ppgf/files/2016/04/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Diego-Oro.pdf

***Eucalyptus globulus* stumpwood as raw material for pulping.** J. Gominho; C. Lopes; A. Lourenço; R. Simões; H. Pereira. BioResources 9(3): 4.038 – 4.49. (2014)

http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/download/BioRes_09_3_4038_Gominho_Eucalyptus_globulus_Stumpwood/2804 (em Inglês)

Stumps of *Eucalyptus globulus* as a source of antioxidant and antimicrobial polyphenols. Â. Luís; D. Neiva; H. Pereira; J. Gominho; F. Domingues; A.P. Duarte. Molecules 19: 16428-16446. (2014)

http://www.mdpi.com/1420-3049/19/10/16428/pdf (em Inglês)

Diagnóstico da eficiência da conversão de biomassa de madeira em carvão. CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Nota técnica. 25 pp. (2014)

http://www.cgee.org.br/eventos/arquivos/CarvaoVegetal-CGEE_NT-Eficiencia_Conversao.pdf

O problema dos tocos residuais das florestas plantadas de eucaliptos. C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 45. Artigo Técnico. 17 pp. (2014)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/news45_Cepas_Tocos.pdf

Caracterização físico-química de tocos de eucalipto para produção de energia. F. Gomes; A. Almeida; C.W.C. Wanderley; R.E. Hakamada. XVII Seminário de Atualização em Colheita de Madeira e Transporte Florestal. 12 pp. (2014)

http://www.expoforest.com.br/seminariodecolheita/wp-content/uploads/2013/09/colheita-2014-bloco-3-artigo-pag-173.pdf

Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* estabelecido em solo sujeito à arenização no sul do Brasil. R.R. Carvalho. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 80 pp. (2014)

http://cascavel.ufsm.br/tede//tde_arquivos/10/TDE-2014-11-17T205823Z-5663/Publico/CARVALHO,%20RENATA%20REIS%20DE.pdf

Biomassa e nutrientes em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa. C.C. Guimarães. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 63 pp. (2014)

http://cascavel.ufsm.br/tede//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=5914

Efeito da qualidade da madeira no desempenho da polpação kraft. D.M. Carvalho; M.R. Silva; J.L. Colodette. Ciência Florestal 24(3): 677 – 684. (2014)

http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/download/2957/pdf

Avaliação da perda de madeira em dois sistemas de colheita florestal mecanizada. R.R. Stroher; A. Nikkel; A.N.Nodari; A.S. Santos; R.C.G. Robert. Enciclopédia Biosfera 10(19): 238 – 249. (2014)

http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/AGRARIAS/avaliacao%20da%20perda%20de%20madeira.pdf

Caracterização físico-química de tocos de eucalipto para produção de energia. F. Gomez; A. Almeida; C.W.C. Wanderley; R.E. Hakamada. XVII Seminário de Atualização em Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal. 12 pp. (2014)

http://www.expoforest.com.br/seminariodecolheita/wp-content/uploads/2013/09/colheita-2014-bloco-3-artigo-pag-173.pdf

Qualidade da madeira e da celulose de clones de *Eucalyptus* spp. de diferentes densidades. F.A. Diogo. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 47 pp. (2014)

http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/113794/000806799.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Heartwood, sapwood and bark variation in coppiced *Eucalyptus globulus* trees in 2nd rotation and comparison with the single-stem 1st rotation. I. Miranda; J. Gominho; H. Pereira. Silva Fennica 49(1): 01 - 13. (2014)

https://www.silvafennica.fi/pdf/article1141.pdf (em Inglês)

Modeling and optimization of *Eucalyptus globulus* bark and wood delignification using response surface methodology. D.M. Neiva; J. Gominho; H. Pereira. BioResources 9(2): 2907 – 2921. (2014)

http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/download/BioRes_09_2_Neiva_Modeling_Optimization_Eucalyptus/2707 (em Inglês)

On the importance of raw material assessment and selection for low cost eucalypt kraft pulp production. J.L. Colodette; F.J.B. Gomes. 13th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp. 05 pp. (2014)

http://www.researchgate.net/profile/Fernando_Borges_Gomes/publication/263556881_3th_European_Workshop_on_Lignocellulosics_and_Pulp_ON_THE_IMPORTANCE_OF_RAW_MATERIAL_ASSESSMENT_AND_SELECTION_FOR_LOW_COST_EUCALYPT_KRAFT_PULP_PRODUCTION/links/0c96053b3f0f3d3f9a000000.pdf?ev=pub_ext_doc_dl&origin=publication_list&inViewer=true (em Inglês)

Produtividade e custos de extração de madeira de eucalipto com clambunk skidder. P.H.A. Santos; A.P. Souza; F.L.C. Marzano; L.J. Minette. Revista Árvore 37(3): 511 – 518. (2013)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v37n3/a14v37n3.pdf

Estimativa do volume comercial de madeira utilizando medidas de cepa em plantios de eucalipto. M.P.C.B. Dias. Dissertação de Mestrado. UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. 44 pp. (2013)

http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/bitstream/1/316/1/marcos_paulo_costa_barcellos_dias.pdf

Remoção de tocos de eucalipto com sistema de serra tubular. V. Casselli. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 112 pp. (2013)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-21012013-092719/publico/Vinicius_Casselli_versao_revisada.pdf

Propriedades da madeira de reação. G.B. Vidaurre; L.R. Lombardi; L. Nutto; F.J.N. França; J.T.S. Oliveira; M.D.C. Arantes. Flor@m – Floresta e Ambiente 20(1): 26 – 37. (2013)

http://www.scielo.br/pdf/floram/v20n1/a03v20n1.pdf

Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. O.A. Dias; G. Simonelli. Enciclopédia Biosfera 9(17). 15 pp. (2013)

http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/MULTIDISCIPLINAR/qualidade%20da%20madeira.pdf

Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. H. Fantuzzi Neto. Tese de Doutorado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 119 pp. (2012)

http://alexandria.cpd.ufv.br:8000/teses/ciencia%20florestal/2012/241922f.pdf

Utilization of residual forest biomass. P. Hakkila. Springer Science & Business Media. 568 pp. (2012)

https://books.google.com.br/books?id=jzPvCAAAQBAJ&dq=hakkila+whole+tree&hl=pt-BR&source=gbs_navlinks_s (em Inglês)

Stump and root biomass of poplar stands. T. Johansson; B. Hjelm. Forests 3: 166 – 178. (2012)

http://www.mdpi.com/1999-4907/3/2/166/pdf (em Inglês)

Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. L.C. Santos; A.M.L.M. Carvalho; B.L.C. Pereira; A.C. Oliveira; A.C.O. Carneiro; P.F. Trugilho. Revista Árvore 36(5): 971 – 980. (2012)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v36n5/19.pdf

A sustentabilidade das florestas plantadas de eucalipto na rede de valor da celulose e papel no Brasil. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 30. 182 pp. (2012)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT30_SustentabilidadeEucaliptos.pdf

Caracterização de *Pinus*, *Eucalyptus*, casca de *Eucalyptus* e resíduos florestais e de destoca para fins energéticos. J.P. Visotto; A.W. Mazzonetto; R.C. Neves; E.M.S. Sánchez; C.G. Sánchez. CONEM 2012. VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. 10 pp. (2012)

https://www.academia.edu/6532267/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o_de_Pinus_Eucaliptus_Casca_de_Eucaliptus_e_Res%C3%ADduos_Florestais_e_de_Destoca_para_fins_energ%C3%A9ticos

Incorporating of bark and tops in *Eucalyptus globulus* wood pulping. I. Miranda; J. Gominho; H. Pereira. BioResources 7(3): 4350 – 4361. (2012)

http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/download/BioRes_07_3_4350_Miranda_Bark_Tops_Eucalyptus_Wood_Pulping/1692 (em Inglês)

Chemical and fuel properties of stumps biomass from *Eucalyptus globulus* plantations. J. Gominho; A. Lourenço; I. Miranda; H. Pereira.

Industrial Crops and Products 39: 12 – 16. (2012)

https://www.academia.edu/14643412/Chemical_and_fuel_properties_of_stumps_biomass_from_Eucalyptus_globulus_plantations?auto=download (em Inglês)

Dimensões de cavacos industriais de eucalipto e relações com polpação, resistência e morfologia de fibras na polpa. J.P. Grande. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 87 pp. (2012)

https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99756/grande_jp_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Depithers for efficient preparation of sugar cane bagasse fibers in the pulp and paper industry. J.A. Lois-Correa. Ingeniería Investigación y Tecnologia 13(4): 417 – 424. (2012)

http://www.ingenieria.unam.mx/~revistafi/ejemplares/V13N4/V13N4_art04.pdf (em Inglês)

Chemical characteristics and kraft pulping of tension wood from *Eucalyptus globulus* Labill. M.G. Aguayo; R.T. Mendonça; P. Martínez; J. Rodríguez; M. Pereira. Revista Árvore 36(6): 1163 – 1171. (2012)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v36n6/17.pdf (em Inglês)

Plantios adensados de eucaliptos: será que esse novo modelo de silvicultura pode apresentar adequada sustentabilidade? C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 33. (2011)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_fev11.html#quatorze

Produtividade, idade e qualidade da madeira de *Eucalyptus* destinada à produção de polpa celulósica branqueada. M.G. Silva. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 95 pp. (2011)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-17032011-162129/publico/Marileide_Gomes_da_Silva.pdf

Características dos resíduos da colheita de eucalipto e *Pinus*, submetidos ao tratamento térmico, com foco na aplicação energética. A.L.P.S.M. Pincelli. Tese de Doutorado. USP – Universidade de São Paulo. 127 pp. (2011)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-29112011-152854/publico/Ana_Lucia_Piedade_Sodero_Martins_Pincelli_versao_revisada.pdf

Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. F.S. Dallagnol; F. Mognon; C.R. Sanquetta; A.P. Dalla Corte. Floresta e Ambiente 18(4): 410 – 416. (2011)

http://www.floram.org/files/v18n4/v18n4a7.pdf

Energia da celulose, desafios e oportunidades. R. Villarroel. Website Grau Celsius. 03 pp. (2011)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Energia_da_Celulose%20-Villarroel.pdf

Whole-tree pulping experiment. B. Fuller. TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2011)

http://www.tappi.org/about-tappi/100-year-anniversary/whole-tree-pulping-experiment-by-bill-fuller/ (em Inglês)

Quality of wood and pulp from a clone of *Eucalyptus grandis* planted at three locations. C.A. Sansígolo; E.S. Ramos. Cerne 17(1): 47 – 60. (2011)

http://www.scielo.br/pdf/cerne/v17n1/v17n1a06.pdf (em Inglês)

Predição do impacto da madeira em fábrica kraft de eucalipto. W.P. Demuner. Monografia de Conclusão de Curso. UFES – Universidade Federal do Espírito Santo. 33 pp. (2011)

http://www.florestaemadeira.ufes.br/sites/florestaemadeira.ufes.br/files/TCC_Wendel%20Pianca%20Demuner.pdf

Predição do impacto da madeira em fábrica kraft de eucalipto. W.P. Demuner; O. Mambrim Filho; F. Costa Neto; J.I.M. Abad. 44º Congresso Internacional. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 25 slides. (2011)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2011_Predicao_impacto_madeira.pdf

Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto. Parte 04: "Casca Suja". C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 21. 100 pp. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT21_CascaSuja.pdf

Aspectos ambientais, econômicos e de saúde e segurança no uso do triturador de galhos oriundo de podas – uma avaliação comparativa pela Cemig D. F.C. Santos; W.J. Pereira; P.M. Castro. SENDI 2010 - Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. 10 pp. (2010)

http://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/03/Aspectos-Ambientais-Econômicos-e-de-Saúde-e-Segurança-no-uso-do-Triturador-de-Galhos-oriundo-de-podas-–-Uma-avaliação-comparativa-pela-Cemig-D..doc

Colheita mecanizada de biomassa florestal para energia. J.L. Canto. Tese de Doutorado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 139 pp. (2009)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/113/Tese_Juliana-Lorensi-do-Canto.pdf?sequence=1

e

http://alexandria.cpd.ufv.br:8000/teses/ciencia%20florestal/2009/226203f.pdf

e

http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp122250.pdf

Productivity of the supply system based on whole-tree bundling. J.Laitila; P. Jylhä; K. Kärhä. Finnish Forest Research Institute. 06 pp. (2009)

http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2009/09/Tiedote_19_2009_4_4_Poster_Whole_tree_bundling.pdf (em Inglês)

e

http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2009/09/Tiedote_19_2009_4_3_Proceedings_Whole_tree_bundling.pdf (em Inglês)

Propriedades papeleiras das árvores, madeiras e fibras celulósicas dos eucaliptos. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 14. 111 pp. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT14_PropPapeleiras.pdf

Papermaking properties of *Eucalyptus* trees, woods, and pulp fibers. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Chapter 14. 110 pp. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/ENG14.pdf (em Inglês)

Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto. Parte 02: Fatores de sucesso para seu gerenciamento. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 13. 128 pp. (2008)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT13_Residuos02.pdf

A produção de florestas plantadas de eucalipto sob a ótica da ecoeficácia, ecoeficiência e da produção mais limpa. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 11. 113 pp. (2008)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT11_P%2BL_florestal.pdf

Competitiveness of whole-tree bundling in early thinnings. K. Kärhä; P. Jylhä; J. Laitila; H. Pajuoja. Proceedings of the Biennial Meeting of the Scandinavian Society of Forest Economics. 11 pp. (2008)

http://ageconsearch.umn.edu/record/198815/files/Pages%20from%20proceedings_08-16.pdf (em Inglês)

Gestão ecoeficiente dos resíduos florestais lenhosos da eucaliptocultura. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 07. 48 pp. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT07_residuoslenhosos.pdf

Resíduos sólidos industriais da produção de celulose kraft de eucalipto - Parte 01: Resíduos orgânicos fibrosos. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 05. 78 pp. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT05_residuos.pdf

Medição de forças no corte de raízes de cepas de espécies de eucalipto. E.A. Buscarato. Dissertação de Mestrado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 100 pp. (2007)

http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257058

Colheita de resíduos florestais para bioenergia nos EUA. R. Rummer; F. Seixas. VIII Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal. 18 pp. (2007)

http://colheitademadeira.com.br/wp-content/uploads/publicacoes/147/colheita_de_residuos_florestais_para_bionergia_nos_eua.pdf

Energy wood and pulpwood harvesting from young stands using a prototype whole-tree bundler. P. Jylhä; J. Laitila. Silva Fennica 41(4): 763 – 779. (2007)

http://m.metla.eu/silvafennica/full/sf41/sf414763.pdf (em Inglês)

Análise da colheita florestal mecanizada em povoamentos de *Eucalyptus spp* na região de Coronel Fabriciano – MG. L.F. Novaes. Monografia de Conclusão de Curso. UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 33 pp. (2006)

http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/8122/2006_1_Luciana-Fernandes-Novais.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 02. 133 pp. (2006)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_minerais.pdf

Aproveitamento da biomassa residual de colheita florestal. C.A. Ortolan; E.W. Azevedo; A.C. Antiqueira; F.A.S. Ortolan; H. Bonisch. Seminário de Atualização sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal. 10 pp. (2006)

http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/doc_aproveitamento_florestal_11596.pdf

Casca da árvore do eucalipto: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 01. 109 pp. (2005)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf

RESUMO: Estimation of whole-tree kraft pulp yield of *Eucalyptus nitens* using near infrared spectra collected from incremet cores. L.R. Schimleck; P.D. Kube; C.A. Raymond; A.J. Michell; J. French. Canadian Journal of Forest Research 35(12): 2797 – 2805. (2005)

http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/x05-193?journalCode=cjfr#.WUEeluY2xjp (em Inglês)

Madeira de eucalipto: com casca ou sem casca? M.M.F.C. Araujo; M.D. Müller; J.C.F.D. Neves; D.C. Barcellos. Biomassa & Energia 1(4): 405 – 412. (2004)

http://biomassaworld.com.br/artigos-tecnicos/madeira-de-eucalipto-com-casca-ou-sem-casca/

e

http://www.renabio.org.br/10-B&E-v1-n4-2004-p405-412.pdf

Avaliação quantitativa de impactos ambientais da colheita florestal em plantios equiânicos de eucalipto. L.C. Freitas. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 113 pp. (2004)

http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9322/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Acúmulo de biomassa de galhos em procedências de *Eucalyptus urophylla, Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* plantadas no município de Santa Maria, RS. C.W. Saldanha; A.J. Kanieski; B.D. Silveira; C.A. Santana; D.S. Caporal; M.V. Schumacher. 3º Simpósio Latino Americano sobre Manejo Florestal. 04 pp. (2004)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/15_Acumulo%20biomassa.pdf

Caracterização da madeira de tração em *Eucalyptus grandis* e sua influência na produção de polpa celulósica. L.C. Sousa. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 93 pp. (2004)

http://alexandria.cpd.ufv.br:8000/teses/ciencia%20florestal/2004/183040f.pdf

Quantificação de biomassa em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Sm. com diferentes idades. M.V. Schumacher; M.V.W. Caldeira. Biomassa e Energia 1(4): 381- 391. (2004)

http://www.renabio.org.br/08-B&E-v1-n4-2004-p381-391.pdf

Genetics of *Eucalyptus* wood properties. C.A. Raymond. Southern Cross University ePublications. 09 pp. (2002)

http://epubs.scu.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1583&context=cpcg_pubs (em Inglês)

Avaliação da biomassa e dos nutrientes em espécies florestais de rápido crescimento - Revisão de literatura. F.L.F. Saidelles; F.G. König; M.V. Schumacher. 1º Simpósio Brasileiro de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 12 pp. (2001)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/23_Biomassa%20e%20nutrientes%20revisao.pdf

Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie *maidenii*. M.V. Schumacher; M.V.W. Caldeira. Ciência Florestal 11(1): 45 – 53. (2001)

http://coral.ufsm.br/cienciaflorestal/artigos/v11n1/art5v11n1.pdf

Variação das características das árvores de *Eucalyptus saligna* Smith em função da altura do tronco. C.A.B. Rosa; D.M.M. Flores; G.V. Cardoso; C.E.B. Foelkel; S.M.B. Frizzo. 1º Simpósio Brasileiro de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 12 pp. (2001)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Casca_arvores_simposio_PG2001.pdf

Sistema de lavagem e recuperação de biomassa. A.B. Landim; R.S. Almeida; E.J. Amaral; S.M. Fernandes. 34º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 13 pp. (2001)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2001_Lavagem_preparo_biomassa_CNB.pdf

Ciclagem de nutrientes em diferentes povoamentos de *Eucalyptus saligna* (Smith), *Eucalyptus dunnii* (Maiden) e *Eucalyptus globulus* (Labillardière) no Rio Grande do Sul, Brasil. M.V. Schumacher. Tese de Doutorado. Universitat fur Bodenkultur. 172 pp. (1995)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/32_Tese%20Doutorado%20M.V.%20Schumacher.pdf

Uso da biomassa florestal como fonte de energia. J.E.N. Manhães. Flor@am – Floresta e Ambiente 1(1). 08 pp. (1994)

http://www.floram.org/files/v1núnico/v1nunicoa13.pdf

Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi, SP. M.V. Schumacher; F. Poggiani. Ciência Florestal 3(1): 21 – 34. (1993)

http://coral.ufsm.br/cienciaflorestal/artigos/v3n1/art2v3n1.pdf

Harvesting *Eucalyptus* for fuel chips. B.R. Hartsough; G. Nakamura. California Agriculture 44(1): 07 – 08. (1990)

http://ucce.ucdavis.edu/files/repositoryfiles/ca4401p7-69443.pdf (em Inglês)

***Eucalyptus globulus* debarking plant.** S. Tavares; A. Silveira; A. Redondo. Commission of the European Communities. Report EUR 13088 EN. 45 pp. (1990)

http://bookshop.europa.eu/bg/eucalyptus-globulus-debarking-plant-pbCDNA13088/downloads/CD-NA-13-088-EN-C/CDNA13088ENC_001.pdf;pgid=y8dIS7GUWMdSR0EAlMEUUsWb0000eIzDF_OE;sid=_2GmPHni7f2mJSqD_j04mxvHXaLabH4x-bI=?FileName=CDNA13088ENC_001.pdf&SKU=CDNA13088ENC_PDF&CatalogueNumber=CD-NA-13-088-EN-C (em Inglês)

Interface recebimento de madeira x produção de polpa: Estabelecimento de relações práticas sobre índices de qualidade. C.A. Busnardo; S. Menochelli; J.V. Gonzaga; R.A. Rostirolla. 22º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 22 pp. (1989)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/04%20Busnardo%20e%20coworkers.pdf

e

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/Interface_madeira_fator_empilhamento_eucalipto.pdf

Faça um bom uso de sua floresta. C. Foelkel. 5º Congresso Florestal Brasileiro. 05 pp. (1986)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Faca%20um%20bom%20uso%20de%20sua%20floresta.pdf

Análise do aproveitamento econômico do resíduo florestal. L.R. Graça; C.H.O. Campos. Boletim de Pesquisa Florestal 13: 35 – 45. (1986)

http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/15510/1/graca.pdf

Variação do rendimento em celulose sulfato ao longo do tronco do *Eucalypytus grandis* Hill ex Maiden e *E. saligna* Smith. V. Manfredi. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 103 pp. (1985)

http://www.eucalyptus.com.br/VailManfredi/1985_Variacao_Rendimento_Celulose_Tronco.pdf (em Português)

A busca da qualidade da madeira do eucalipto para celulose através da arvore projetada pelo homem. C.E.B. Foelkel. Simpósio sobre Tendências do Desenvolvimento Florestal Brasileiro. ESALQ – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. (1985)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1985_Engenheirando_qualidade_madeira.pdf

RESUMO: The changing quality of the world wood supply. B. Zobel. Wood Science Technology 18(1): 01 - 17. (1984)

https://link.springer.com/article/10.1007/BF00632127 (em Inglês)

Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. F. Poggiani; S. Zen; F.S. Mendes; F. Spina-França. IPEF 27: 17 – 30. (1984)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr27/cap02.pdf

Casca de *Eucalyptus globulus*: polpação versus queima. C.F. Silva. 16º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 10 pp. (1983)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1983_Casca_Eucalyptus_globulus.pdf

Selecting and breeding for desirable wood. B. Zobel; E. Campinhos Jr.; Y. Ikemori. TAPPI Journal (January): 70 – 73. (1983)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Selecting_Breeding_Wood_Trees.pdf (em Inglês)

Potencialidade da utilização de galhos de eucaliptos para produção de polpas kraft. R.C. Oliveira; J.L. Colodette; J.L. Gomide. 14º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 28 pp. (1981)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1981_Galhos_eucaliptos.pdf

Variação da concentração de nutrientes ao longo do caule de *E. saligna*: implicações na utilização energética dos resíduos florestais. S. Zen; F. Poggiani; H.T.Z. Couto. IPEF Circular Técnica nº 136. 06 pp. (1981)

http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr136.pdf

Programa para uso conjunto de resíduos fibrosos na produção de celulose kraft. C. Zvinakevicius; C.E.B. Foelkel; J. Kato; J. Medeiros Sobrinho. CENIBRA – Celulose Nipo Brasileira. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 22 pp. (1981)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1981.%20uso%20res%EDduos%20fibrosos.pdf

Should whole-tree chips for fuel be dried before storage? E.L. Springer. U.S.D.A. Forest Service. FPL – Forest Products Laboratory. Research Note FPL-0241. 05 pp. (1979)

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrn/fplrn241.pdf (em Inglês)

Depithed bark: a new source of fibers for kraft pulping. C. Foelkel; C. Zvinakevius; J. Kato. TAPPI Pulping Conference. 08 pp. (1979)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/tappi/1979_Depithed_bark.pdf (em Inglês)

Utilização da madeira com casca na produção de celulose sulfato de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea var. bahamensis*. J.O. Brito. Dissertação de Mestrado. USP - Universidade de São Paulo. 127 pp. (1979)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2004_Utiliza%E7%E3o%20da%20madeira%20com%20casca.%20Disserta%E7%E3o%20prof.pdf

Uso integral da árvore: a casca. J.O. Brito; L.E.G. Barrichelo. Circular Técnica IPEF nº 50. 04 pp. (1979)

http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr050.pdf

O uso intensivo da floresta e seus reflexos na fertilidade do solo. E.A. Balloni. Circular Técnica IPEF nº 45. 11 pp. (1979)

http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr045.pdf

Whole-tree chipping... A forest management tool. P.M. Butts; D.N. Preston. Georgia Forest Research Paper nº 4. 11 pp. (1979)

https://archive.org/details/wholetreechippin04butt (em Inglês)

CITAÇÃO: Forest biomass inventory: the basis for complete tree utilization. H.E. Young. Forest Products Journal 28(5). (1978)

https://www.osti.gov/scitech/biblio/5651502 (em Inglês)

Verificações acerca da influência do diâmetro das toras de eucalipto sobre alguns dos parâmetros de mensuração de madeira e sobre a qualidade da celulose kraft. C.E.B. Foelkel; C. Zvinakevius; J. Kato; N. Barlem; L.A. Tocchetto; G.A. Ferreira. Congresso Anual da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 05 pp. (1978)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1978.%20Di%E2metro%20toras.pdf

Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor. C.E.B. Foelkel. I Congresso Brasileiro sobre a Qualidade da Madeira. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. XI Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. IPEF Boletim Informativo 06(20): E1 – E25. (1978)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Madeira%20do%20eucalipto_%20da%20floresta%20ao%20digestor.pdf

Avaliação técnico-econômica da produção de celulose de madeira não-descascada de *Pinus caribaea* e *Eucalyptus grandis.* J.O. Brito; L.E.G. Barrichelo; R.C.D. Garlipp. I Congresso Brasileiro sobre a Qualidade da Madeira. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. XI Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. IPEF Boletim Informativo 06(20): D1 – D51. (1978)

http://www.ipef.br/publicacoes/boletim_informativo/bolinf20.pdf

Casca desmedulada de eucalipto: uma nova opção como fonte de fibras para a indústria de celulose kraft. C.E.B. Foelkel; C. Zvinakevius; L.R.O. Siqueira; J. Kato; J.O.M. Andrade. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 15 pp. (1977)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1977.%20casca%20desmedulada%20de%20eucalipto.pdf

CITAÇÃO: Origins of some problems in whole-tree pulping. R. Marton; T.E. Amidon; R. Koeppicus. TAPPI Journal 59(12): 107 – 112. (1976)

http://openagricola.nal.usda.gov/Record/CAIN779003614 (em Inglês)

The effect of whole-tree chips in pulp and papermaking. B.W. Halliburton. Dissertação de Mestrado. Virgina Polytechnic Institute and State University. 72 pp. (1975)

https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/64624/LD5655.V855_1975.H343.pdf?sequence=1&isAllowed=y (em Inglês)

CITAÇÃO: Whole-tree utilization: fact or fantasy. R.J. Auchter. TAPPI Journal 58(11): 04 – 05. (1975)

http://archiveswest.orbiscascade.org/ark:/80444/xv55651 (Referência 29 - em Inglês)

O problema da casca do eucalipto. G. Krogh. Seminário de Integração Floresta - Indústria. IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. p.: 157 - 164. (1975).

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2011_Seminario%20de%20integra%E7%E3o%20floresta%20ind%FAstria0001.pdf

CITAÇÃO: Short-rotation hardwood species as whole-tree raw material for pulp and paper. 1. General aspects. B. Lönnberg. Paper and Timber 57(6): 443 – 447. (1975)

http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302754099 (em Inglês)

CITAÇÃO: Short-rotation hardwood species as whole-tree raw material for pulp and paper. 2. Wood raw material. B. Lönnberg. Paper and Timber 57(8): 513 - 516. (1975)

http://digitalcommons.usu.edu/aspen_bib/5094/ (em Inglês)

Physical and chemical properties of slash pine tree parts. E.T. Howard. Wood Science 5(4): 312 – 317. (1973)

http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_howard003.pdf (em Inglês)

Complete-tree utilization. An analysis of the literature. J.L. Keays. Forest Products Laboratory. Canadian Forest Service. Department of Fisheries and Forestry. Information Reports. V Parts. (1971)

Part I: Unmerchantable top of the bole. 106 pp. (1971)

http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8093&context=aspen_bib (em Inglês)

Part II: Foliage. 103 pp. (1971)

http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8092&context=aspen_bib (em Inglês)

Part III: Branches. 76 pp. (1971)

http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8091&context=aspen_bib (em Inglês)

Part IV: Crown and slash. 88 pp. (1971)

http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8089&context=aspen_bib (em Inglês)

Part V: Stump, roots and stump-root system. 69 pp. (1971)

http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8090&context=aspen_bib (em Inglês)

World developments in increased forest resources for the pulp and paper industry. J.L. Keays. Forest Products Laboratory, Information Report VP-X-64. Canadian Forestry Service, Department of Fisheries and Forestry. 68 pp. (1970)

http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8088&context=aspen_bib
(em Inglês)

Melhoramento para produtividade e qualidade de celulose de fibra curta. T.F. Assis. Grau Celsius Negócios em Gestão do Conhecimento. 18 pp. (SD: Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2008.%20Estrat%E9gias%20de%20Melhoramento%20FIBRA%20CURTA.doc

Carbon storage in *Eucalyptus ssp*. forests in different ages in small rural areas in South Brazil. M.V. Schumacher; R. Witschoreck; F.N. Calil. (SDF: Sem referência de data e de fonte)

http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=0422666C24366B1B009E836475D44120?doi=10.1.1.626.5934&rep=rep1&type=pdf