Eucalyptus Online Book & Newsletter

Celsius Degree / Grau Celsius

Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade

Parte 1: Biomassa Florestal & Florestas Energéticas

Celso Foelkel
http://www.celso-foelkel.com.br
http://www.eucalyptus.com.br
https://www.linkedin.com/profile/view?id=48985640&trk
https://www.researchgate.net/profile/Celso_Foelkel
https://twitter.com/AVTCPEP
https://twitter.com/CFoelkel

Março 2016

EUCALYPTUS ONLINE BOOK

CAPÍTULO 43

Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade

Parte 1: Biomassa Florestal & Florestas Energéticas

Uma realização:

º Celsius Degree / Grau Celsius
Negócios em Gestão do Conhecimento

Autoria: **Celso Foelkel**

==========

Organizações facilitadoras:

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

Pöyry

Solenis

Stora Enso Brasil

Suzano Papel e Celulose

Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade

Parte 1: Biomassa Florestal & Florestas Energéticas

CONTEÚDO DO CAPÍTULO

- INTRODUÇÃO, RELATO DE VIDA E AGRADECIMENTOS
- BIOMASSA, BIOMASSA FLORESTAL, BIOECONOMIA & BIOENERGIA
- TÓPICOS ESPECIAIS SOBRE BIOMASSA FLORESTAL
- A BIOMASSA FLORESTAL NA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO
- QUALIDADE DA BIOMASSA FLORESTAL DO EUCALIPTO PARA FINS ENERGÉTICOS
- FLORESTAS ENERGÉTICAS, DENDROENERGÉTICAS OU FITOENERGÉTICAS
- VALORAÇÃO ENERGÉTICA DE FLORESTAS PLANTADAS DE EUCALIPTO
- PLANTAÇÕES ADENSADAS DE ÁRVORES
- UMA SUGESTÃO DE ALTERNATIVA DE FLORESTA SEMI-ADENSADA PARA INVESTIGAÇÃO DE VIABILIDADE TÉCNICA E AMBIENTAL
- ALGUNS PROBLEMAS E CÁLCULOS PRÁTICOS SOBRE BIOENERGIA DA MADEIRA DO EUCALIPTO
- CONSIDERAÇÕES FINAIS
- REFERÊNCIAS DA LITERATURA
- Leitura complementar: PLANTIOS ADENSADOS DE EUCALIPTOS: *Será que esse novo modelo de silvicultura pode apresentar adequada sustentabilidade?*

==========

Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade

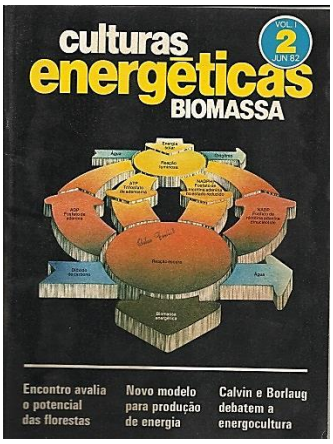
Parte 1: Biomassa Florestal & Florestas Energéticas

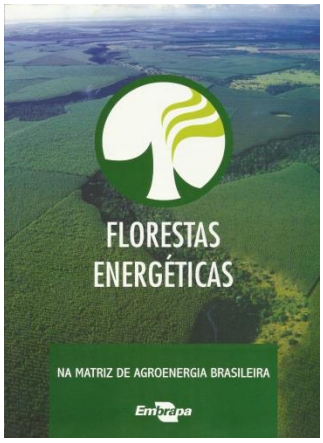
Biomassa energética – Solução, Remediação ou Sonhos Renovados?

==========

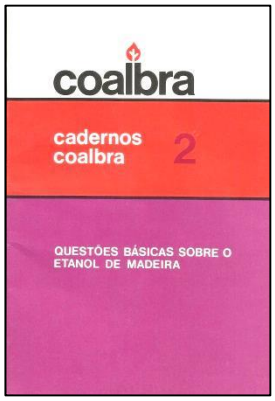
Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade

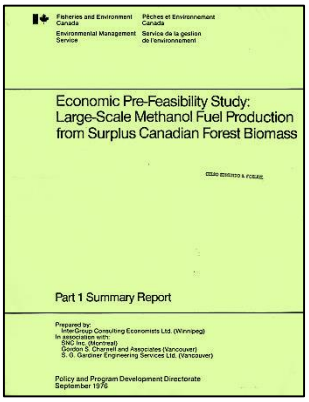
Parte 1: Biomassa Florestal & Florestas Energéticas





Bioenergia florestal – *Seria outra vez a bola da vez?*





Décadas 70's e 80's - Os mesmos sonhos? O que se materializou disso?

INTRODUÇÃO, RELATO DE VIDA E AGRADECIMENTOS

Esse capítulo inicia uma série de três capítulos sobre o uso energético da biomassa do eucalipto. O tema é amplo e variado, até mesmo histórico e/ou, talvez, futurístico. Por isso mesmo, não serei tão abrangente nessa pequena série de capítulos, pois de uma forma ou de outra, ou eu já descrevi outros usos energéticos do eucalipto: como carvão vegetal no capítulo 18, como fonte de biocombustíveis no capítulo 29, que discorreu sobre biorrefinarias, como também já escrevi muito sobre ecoeficiência energética no capítulo 19, todos como partes integrantes do nosso Eucalyptus Online Book; ou em alguns artigos de nossas Eucalyptus Newsletter e PinusLetter.

Tenho notado muitas ansiedades e enormes expectativas para o uso energético da biomassa eucalíptica, em especial por pequenos empresários, produtores rurais e até mesmo empresas de grande porte. Existem muitos projetos, sonhos e mesmo realizações em curso focadas em atender a produção de energia e de energéticos a partir dessa biomassa, inclusive com produtos para exportações, como péletes, briquetes, cavacos e biocombustíveis líquidos.

Exatamente por isso, quero oferecer com meus textos algumas informações básicas importantes e muitos dados práticos e fundamentais para que as pessoas interessadas de nossa sociedade possam melhor entender sobre o tema, melhorando assim os seus processos de tomada de decisão ou de avaliações conceituais e quantificações numéricas.

A literatura sobre isso tudo é muitíssimo vasta e merece toda minha admiração pelo que se gerou sobre esse tema no Brasil. São ofertas de conhecimentos, estudos e pesquisas, que aparecem abundantemente na web ou em textos impressos para serem estudados e lidos. Debruceime sobre algumas centenas deles, lendo-os cuidadosa e criticamente. Com isso, eu pude aprender muito com diversos estudiosos e grandes autores, podendo assim melhorar meu embasamento sobre esses importantes assuntos. Eu tinha como meta escrever apenas um capítulo sobre bioenergia do eucalipto, mas logo descobri que se assim o fizesse, deveria produzir não um capítulo, mas uma pequena enciclopédia em energia da biomassa, tamanha é a amplitude desse assunto.

Com isso, procurei dividir a temática de acordo com os seguintes tópicos, cada um compondo um capítulo específico de nosso Eucalyptus Online Book sobre a mesma temática central:

Série de capítulos:

Utilização da biomassa do eucalipto para produção de calor, vapor e eletricidade

Capítulo 43:

Parte 1: Biomassa Florestal & Florestas Energéticas

Capítulo 44:

Parte 2: Geração de Calor, Vapor e Eletricidade

Capítulo 45:

Parte 3: Resíduos Florestais Energéticos

Antes de lhes trazer meus considerandos, meus questionamentos, minhas experiências e diversos cálculos práticos para cooperar para melhoria do entendimento do que me propus para transferir desses conhecimentos, eu gostaria de homenagear alguns autores de textos magníficos, que tive oportunidade de ler antes de iniciar a redação desses três capítulos. Todos eles têm sido vetores de agregação de mais conhecimentos sobre esse assunto e me ajudaram tanto com seus estudos e textos, bem como me fornecendo dados, fotos e informações vitais para que eu melhor pudesse lhes oferecer algo de utilidade. Conheço muito bem grande parte desses autores, muitos são excelentes amigos, mas alguns desses autores, infelizmente eu ainda não conheço pessoalmente, mas a leitura de seus textos, teses, artigos e mensagens

de e-mail me fizeram sentir profundamente agradecido por ter encontrado suas reflexões e comentários para leitura cuidadosa.

Temos na seção de referências da literatura muitos textos escritos por uma longa lista de especialistas e estudiosos de bioenergia, mas que poderia ser muito maior, caso eu tivesse mais disponibilidade de tempo para mais leituras e buscas. Muitos dos autores citados são eminentes estudiosos nos temas da agroenergia ou da utilização energética da madeira e de resíduos florestais.

Por outro lado, eu gostaria de reforçar o fato de que muitos desses textos se constituem em teses de doutorado, dissertações de mestrado e alguns são monografias de conclusão de cursos. Pela qualidade desses estudos e pela forma tecnológica clara dos textos, só posso parabenizar a todos os seus autores e deixar minha recomendação a esses autores para que continuem assim, trabalhando de forma objetiva e com muita qualidade em seus artigos e textos, de forma a difundir o que aprenderam com seus estudos e pesquisas.

Assim sendo, deixo meus agradecimentos sinceros e minha admiração pelas significativas contribuições técnicas e científicas aos seguintes autores (em ordem alfabética de primeiro nome):

- Alberto Ferreira Lima
- Alexandre Brandão Landim
- Ana Teresa Oliveira Santos Silva
- Angélica de Cássia Oliveira Carneiro
- Antônio Francisco Jurado Bellote
- Ari da Silva Medeiros
- Benedito Rocha Vital
- Bruno César Ladeira
- Carla Célia Rosa Medeiros
- Carlos Alberto Busnardo
- Carlos Alberto dos Santos Matos
- Carlos Roberto de Lima
- Dan Gavrilescu
- Eder Aparecido Garcia
- Elder Eloy
- Eraldo S. B. Merlin
- Erik Júnior Paulino
- Estanislau Victor Zutautas
- Éverton Hillig
- Fábio Poggiani
- Fernanda Cristina Pierre Dal Farra
- Fernando Henrique de Lima Gadelha
- Francisco de Assis Bertini Moraes

- Francisco Leonel C. Lima
- Francisco Luiz Sanchez Santiago
- Gabriel Pena Vergara
- Geraldo Gonçalves dos Reis
- Gunnar N.E. Krogh
- Hanniel Freitas
- Hilton Thadeu Zarate do Couto
- Ian Pereira Sartório
- Isaias C. Macedo
- Jorge Luiz Colodette
- José Antônio Aleixo da Silva
- José Dílcio Rocha
- José Luiz Gava
- José Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira
- José Otávio Brito
- Juliana Lorensi do Canto
- Júlio Cézar Ferreira Macedo
- Laércio Couto
- Laurent Marie Roger Quéno
- Leandro Calegari
- Luiz Carlos Couto
- Luiz Ernesto George Barrichelo
- Luiz Fernando dos Santos
- Marcelo Dias Müller
- Márcio Santana Carvalho
- Marco Aurélio Luiz Martins
- Mário Donizeti do Nascimento
- Martha Andréia Brand
- Moacir Medrado
- Natália Sousa Ceragioli
- Nelson Longhi Júnior
- Newton Paterman Brasil
- Patric Schürhaus
- Paulo Fernando Trugilho
- Ricardo Nunes Freitas Neves
- Roberto Villarroel
- Rodrigo Eiji Hakamada
- Rodrigo Pereira Francisco
- Serge N. Gorbatsevich
- Sérgio V. Bajay
- Thelma Shirlen Soares
- Tiago Fiori Cardoso
- Vantuir Baptista Pereira Júnior
- Victor Goltz

- Waldir Ferreira Quirino
- Walter Paula Lima
- Wilma Michele Santos Santana

As fontes de biomassa são variadas e inúmeras, como ocorre também na agricultura

Dentro da programação que construí, quando eu decidi escrever na web o **Eucalyptus Online Kook**, inclui desde a concepção desse livro virtual um capítulo sobre florestas energéticas para produção de biomassa arbórea com fins de utilização energética. Esse tema é hoje de enorme atualidade e muito demandado por leitores e por pessoas da sociedade, que querem entender mais sobre o potencial da eucaliptocultura como fonte de energia renovável. Em função de inúmeros questionamentos realizados por internautas na seção **"Pergunta ao Euca Expert"** percebi que eu precisaria aumentar o escopo desse capítulo energético um pouco além do que era a ideia original, que seria discorrer apenas sobre as chamadas florestas energéticas. Daí a ampliação do tema para inclusão também dos processos de geração de calor, vapor e eletricidade. Isso porque notei que as pessoas interessadas precisam muito de indicadores de rendimentos e potenciais, caso contrário, poderão embarcar em investimentos, que podem até mesmo não conseguirem ser sustentáveis, seja econômica e/ou ambientalmente.

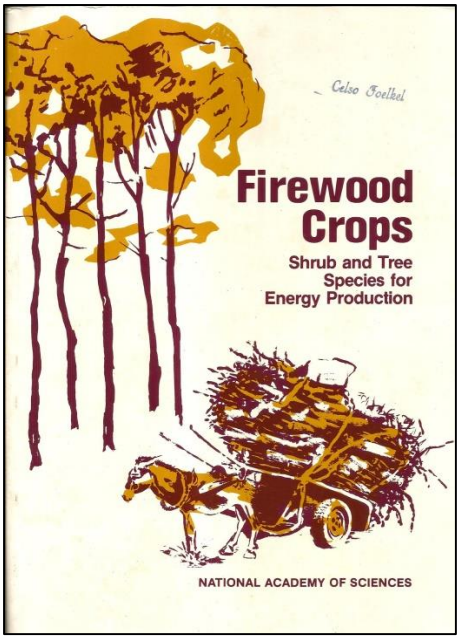
Eu sempre tive uma atração especial sobre a geração e utilização da energia. Inicialmente, em função de meus estudos de engenharia agronômica, aprendi muito sobre eletricidade e eletrificação rural, mas

pouco sobre a geração de vapor, calor e eletricidade. Com isso, meus conhecimentos eram escassos acerca de balanços energéticos e mássicos e sobre geração de vapor em caldeiras e de eletricidade em turbogeradores. Na verdade, eu tinha pouca afinidade com tabelas de vapor, sobre entalpias e entropias, sobre unidades de medição complexas como cavalo-a-vapor, BTU's, etc. etc. Durante meu curso de pós-graduação nos Estados Unidos (Syracuse/NY), no início dos anos 70's, eu finalmente consegui o embasamento que me faltava para pensar e agir como um engenheiro mais completo, pois tive magnificas aulas sobre balanços de energia/materiais e sobre as operações unitárias da engenharia química com meu saudoso mestre e orientador no curso – o professor Serge N. Gorbatsevich.

Ao retornar ao Brasil como professor da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, em 1974, tive como colega de trabalho nada mais nada menos que meu grande amigo professor Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo. Logo, o professor Barrichelo percebeu que o tema sobre uso energético de madeiras de reflorestamento era algo que precisava ser desbravado no Brasil. Graças a essa antecipação visão futurística do professor Barrichelo, a antiga SQCP (Seção de Química, Celulose e Papel) do Departamento de Silvicultura da ESALQ se converteu em LQCE (Laboratórios Integrados de Química, Celulose e Energia) para colocar foco também no uso energético da madeira e dos resíduos florestais. Essa temática era mais desenvolvida pelo professor Dr. Luiz Ernesto Barrichelo, e em seguida, pela sua parceria acadêmica com um dos maiores expoentes brasileiros no uso energético da madeira, o professor Dr. José Otávio Brito.

Por essa razão, eu que estava inicialmente deslumbrado (meados da década dos anos 70's) com as tecnologias de celulose e papel, acabei tendo tímidas e poucas tentativas de estudos sobre bioenergia de biomassa arbórea naquela época. Minhas incursões sobre isso passaram a acontecer a partir do final dos anos 70's e início dos anos 80's.

Comecei a perceber a importância do assunto energético, quando tivemos, (Barrichelo e eu), um artigo que escrevemos sobre a bracatinga (*Mimosa scabrella,* ex-*Mimosa bracatinga*) sendo relacionado como referência de literatura no famoso livro de 1980 da National Academy of Sciences de título "Firewood Crops". Foram tantas as cartas recebidas de interessados provenientes de inusitadas regiões deste mundo, que nos surpreendeu como havia "um enorme mercado" para os conhecimentos sobre a madeira energética.



Por isso mesmo, também notamos, que a partir de meados dos anos 70's e início dos 80's, passaram a ser constituídos grupos de notáveis estudiosos sobre bioenergia em diversas universidades e laboratórios de pesquisa no País, tais como os criados na ESALQ/USP (Dr. Luiz E.G. Barrichelo e Dr. José Otávio Brito), na UFV – Universidade Federal de Viçosa (Dr. Benedito Rocha Vital); na UFLA (Dr. Paulo Fernando Trugilho e Dr. José Tarciso Lima); no CNPF – Centro Nacional de Pesquisa de Florestas ou Embrapa Florestas (Dr. Antônio Francisco Jurado Bellote); na Embrapa Agroenergia (Dr. José Dílcio Rocha) e no LPF – Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro (Dr. Waldir Ferreira Quirino). Atualmente, temos equipes de pesquisadores em energia da madeira em praticamente todas as universidades líderes do País, nos cursos de Engenharia Florestal, Engenharia Química, Engenharia Elétrica e agora também na Engenharia Industrial Madeireira.

Quando de minha época como responsável pelo Departamento de Controle de Qualidade, Pesquisa e Ambiente da CENIBRA – Celulose Nipo-Brasileira S.A. (1976 – 1979) tive minhas primeiras e relevantes incursões sobre esses estudos de energia – a razão era muito simples – havíamos adquirido para o laboratório de química uma bomba calorimétrica, o que nos permitia determinar o poder calorífico da madeira, da casca, de resíduos, bem como de outros combustíveis fósseis ou renováveis. Em nossa primeira publicação sobre o assunto, que escrevemos junto com a equipe da CENIBRA e publicamos em 1981, em uma época pré-

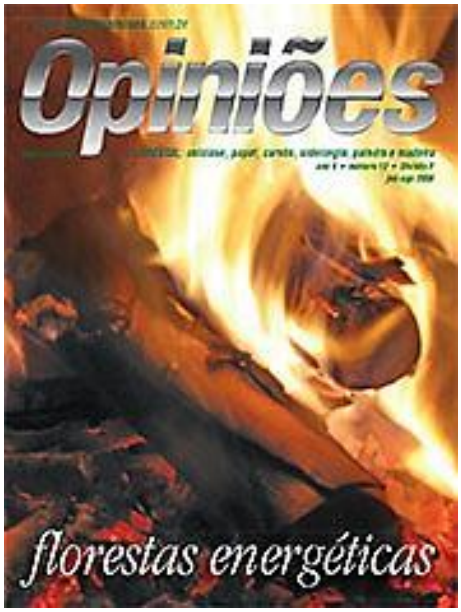
biorrefinarias, surgiu o artigo "Carvão de lignina: subproduto da hidrólise ácida da madeira do eucalipto".

O segundo de nossos artigos energéticos já foi a nível internacional: juntamente com o grande amigo e estudioso de energia Gunnar Krogh, escrevemos um artigo que foi publicado na revista Pulp & Paper International sobre as potencialidades que existia no setor de celulose e papel do Brasil para alterar a matriz energética, incluindo a madeira e a casca das árvores como fontes de combustível em substituição ao óleo combustível de natureza fóssil. O título do artigo era "The experience of Brazilian pulp and paper industry in reducing fuel oil consumption" e esse pode ser encontrado para ser baixado na seção de referências da literatura desse presente capítulo.

Entretanto, foi a partir de minha mudança para a Riocell, em 1979, que comecei a me dedicar com intensidade aos assuntos sobre energia e bioenergia. Em parte, isso foi função da qualificação, motivação e talento de alguns de nossos colegas de trabalho, como Carlos Alberto Busnardo, Marco Aurélio Luiz Martins e Ari da Silva Medeiros. Os três sempre foram qualificados engenheiros químicos, apaixonados pelos cálculos de balanços de energia e materiais, o que nos levou a estudar energeticamente praticamente toda a fábrica da Riocell durante os anos 80's e 90's, começando com estudos sobre a alimentação de serragem de madeira ao forno de cal, para depois otimizar energicamente as inúmeras áreas operacionais da mesma fábrica em Guaíba, como caldeiras de recuperação e de força, evaporação do licor preto, secagem da celulose, forno de cal, digestor e difusor, etc. etc. Também os combustíveis lenhosos (resíduos, madeiras e cascas) bem como os potenciais das florestas plantadas de eucalipto para suprir energia foram avaliados e quantificados. Na época, a Riocell tinha como principal acionista a empresa Klabin do Paraná, que também estava colocando muito foco na utilização energética da biomassa. Isso alavancou nossos estudos e gerou parcerias interessantes no nível de pesquisas tecnológicas.

Quando me desliguei da Riocell e me afastei do grupo de pesquisas que lá tínhamos desenvolvido, começou uma nova fase em minha vida, agora com outros parceiros técnicos, tanto na UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, como em empresas onde atuei como consultor a partir de 1998. Por exemplo, em meados dos anos 2000's, realizamos com todo o empenho e coordenação do Dr. Leandro Calegari (na época, aluno da UFSM e estagiário da Cambará Produtos Florestais) um interessante estudo da valorização energética dos resíduos madeireiros que essa empresa utilizava em sua caldeira de biomassa. Também me

envolvi em estudos de otimização energética em empresas onde atuei como consultor em ecoeficiência como na VCP – Votorantim Celulose e Papel, onde conheci dois valorosos e qualificados engenheiros trabalhando sobre os usos e aplicações da energia no setor de celulose e papel (Roberto Villarroel e Estanislau Victor Zutautas), dentre tantos outros em diversas de minhas empresas clientes.



A partir do ano 2005, com a criação e lançamento do **Eucalyptus Online Book**, surgiram diversos capítulos que escrevi acerca de energia e bioenergia, como o capítulo 18 sobre carvão vegetal, o capítulo 19 sobre ecoeficiência energética, o capítulo 29 sobre biorrefinarias. Também escrevi três capítulos sobre cálculos, problemas e balanços de massa e de energia para o setor de base florestal, onde busquei apresentar não textos, mas problemas resolvidos dentre os quais diversos sobre geração, uso e otimização energética. Também esses capítulos mencionados do nosso Eucalyptus Online Book podem ser obtidos na íntegra navegando na seção de referências da literatura ao quase término desse presente capítulo.

Agora e de forma muito motivada, pretendo lhes entregar essa série de três novos capítulos (números 43 a 45) para compartilhar e interagir com os interessados em temas energéticos de vitais importâncias para o setor de base florestal.

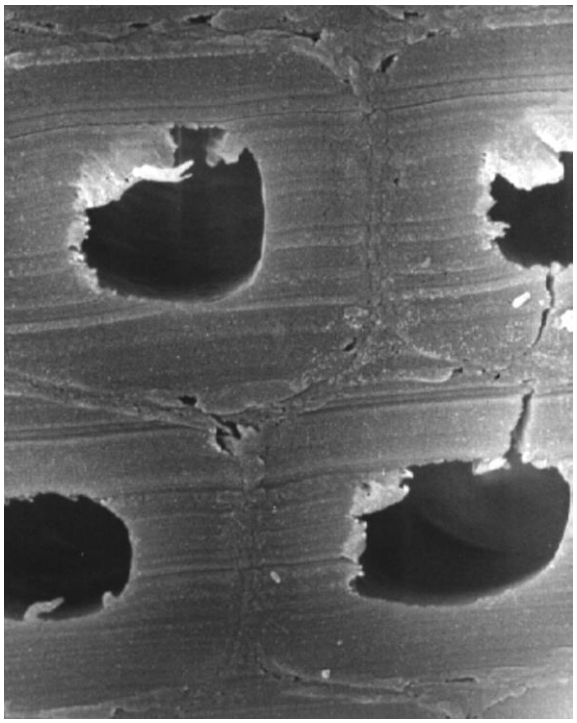
Espero sinceramente que esses capítulos e toda a literatura associada a eles, que foi gerada por inúmeros autores de qualificada competência, possam lhes ser de muita utilidade.

Um grande abraço e um enorme muito obrigado a todos vocês leitores pela honra que me fazem ao realizarem a leitura desse e de nossos próximos textos acerca da biomassa energética dos eucaliptos.

Biomassa residual não é lixo e sim matéria-prima de processo ou de energia

==========

BIOMASSA, BIOMASSA FLORESTAL, BIOECONOMIA & BIOENERGIA



Parede celular – a fonte dos componentes da biomassa vegetal

A biomassa florestal tem-se constituído em importante insumo energético para a humanidade desde os primórdios de sua existência no planeta. Atualmente, ela tem sido inclusive estimulada e priorizada como fonte energética alternativa aos combustíveis fósseis em função de suas excepcionais qualidades ambientais, principalmente pelo fato de ser renovável, além de também ser sequestradora de gás carbônico atmosférico e armazenadora de carbono orgânico durante o seu período de crescimento.

Existem diversos países no Hemisfério Norte que vêm encontrando na biomassa florestal um recurso de inquestionável valor para a sociedade, tais como Finlândia, Suécia, Canadá e Estados Unidos da América. Inúmeros países em desenvolvimento também têm tido, ao longo de suas histórias, uma constante e importante participação da biomassa florestal na vida de seus cidadãos, em seus lares, negócios e empresas de serviços, agrícolas e industriais. É o caso do Brasil, onde a biomassa florestal tem tido significativa participação na matriz energética da Nação.

Geralmente, a principal forma de utilização da biomassa florestal é através de sua conversão termoquímica ou pela combustão ou queima. Essas são as maneiras mais usuais e simples para aproveitamento da energia primária contida na biomassa florestal. Esse tipo de aproveitamento vem sendo realizado pelos cidadãos em seus lares (aquecimento e cocção), empresas (restaurantes, hotéis, padarias, hospitais, olarias, etc.), agricultura (secagem de grãos, aquecimento na criação de animais, etc.). Também é importante o uso energético da biomassa florestal na produção industrial de carvão vegetal e em muitos outros tipos de indústrias, como a de celulose e papel.

Por outro lado, a conversão dessa energia primária em energia elétrica através de pequenas e médias centrais termelétricas também tem tido crescimento acelerado, principalmente no Brasil. Com as dificuldades hídricas que o País tem enfrentado em épocas recentes, a busca por outras fontes de geração de eletricidade tem sido priorizada, tanto através de fontes eólicas como de energia da biomassa. No caso da biomassa florestal, existem fatores críticos a serem trabalhados, tais como: custos e disponibilidade da biomassa, escala de produção e tecnologias de conversão.

A biomassa energética de base florestal pode-se apresentar como lenha, cavacos, péletes, briquetes, resíduos industriais de madeira, resíduos da colheita das florestas plantadas e até mesmo como fragmentos triturados ("hogged fuel") da poda de árvores urbanas. Apesar de uso muito popular no Brasil, todo esse processo é movido pela improvisação, pela falta de bons projetos de engenharia, com escassas tentativas de fortalecimento de seus mercados, com grande número de atravessadores na rede produtiva e com diminuta visibilidade em termos de custos, margens de contribuição, resultados e potenciais competitivos comparativos a outros combustíveis de origem fóssil ou mesmo de biomassas (bagaço de cana, palhas de cereais, bambus, etc.).

Ao mesmo tempo em que a energia da biomassa tem conseguido enormes avanços em termos de evolução tecnológica e de pesquisas universitárias, ainda existem muitos fatores atrapalhadores que impedem que ela se concretize em opção vital e fundamental para grande parte da indústria. Com exceção de alguns poucos setores da indústria que são grandes usuários da biomassa energética, como o sucroalcooleiro (energia da cana de açúcar), o siderúrgico (carvão vegetal) e os de celulose/papel e painéis de madeira (licor preto, resíduos e florestas energéticas), a maioria do consumo da biomassa para gerar energia ainda é resultante de centenas de milhares de pequenos consumidores domésticos e de empresas industriais, produtores rurais e de serviços com pequenos a médios portes.

Na verdade, enquanto existir petróleo, carvão mineral e gás natural a baixos custos de extração, sendo resultados de presentes da mãe Natureza para um ser humano insaciável, as outras alternativas energéticas (como a biomassa florestal) terão maiores dificuldades em crescimento e ganhos de competitividade, até mesmo para maiores sofisticações em suas tecnologias.

Uma coisa é absolutamente certa: o ser humano atual é altamente viciado em eletricidade e em motores de combustão. Dificilmente as fontes alternativas de origem renovável vão conseguir crescer na dimensão requerida para substituírem esses combustíveis fósseis, pelo menos no curto prazo. Parece que o ser humano moderno está escravizado à tomada de força e à bomba de combustível líquido (gasolina, etanol e diesel).

Mesmo sendo a biomassa florestal uma forma de energia renovável e com adequado nível de sustentabilidade, ela ainda enfrenta suas dificuldades e momentos de muitas incertezas, pois ainda é enorme a competição com os combustíveis fósseis, o que traz perversidade e irracionalidade nos jogos mercadológicos.

Apesar das incertezas presentes e das dificuldades de materialização em projetos viáveis de muitas florestas energéticas que foram plantadas no País em passado recente, existem expectativas de crescimento no setor de geração de termeletricidade e em fábricas de densificação da biomassa (peletização e briquetagem). Isso para atender à demanda energética de uma população crescente e cada vez mais consumidora, bem como para geração de produtos energéticos destinados à exportação (péletes, briquetes, cavacos).

Afinal, em que se alicerçam essas expectativas de crescimento desses setores? Seriam sonhos, ou existe base mercadológica forte? Seriam as vantagens competitivas do setor? Seriam as políticas intergovernamentais estimulando o crescimento limpo na economia do baixo carbono? Seriam as melhores condições ambientais que a biomassa oferece, com menos riscos de degradação dos ambientes naturais? Será que isso tudo é verdade mesmo? Ou só seriam fatores aplicáveis no caso de ocorrer muita responsabilidade e conscientização dos atores participando dessa rede econômica ampla e que permeia por inúmeros setores da economia?

Uma coisa eu posso afirmar com toda a segurança a vocês, meus prezados leitores: não é porque a biomassa é verde e renovável, que ela não vai oferecer riscos ambientais e sociais. Caso não sejam praticados os melhores procedimentos e usadas as melhores tecnologias, a utilização da biomassa energética pode sim trazer danos até mesmo irreversíveis ao meio ambiente, tanto no solo, como na biodiversidade, nos recursos

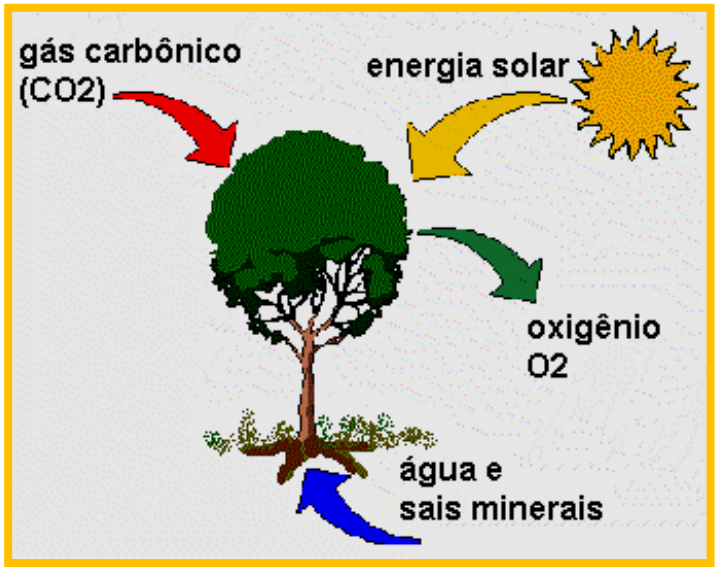
hídricos, etc. Temos que ter tudo isso e também muita responsabilidade e foco na sustentabilidade no longo prazo para essa rede de valor, ou seja "desde o seu berço até o seu túmulo".

Atualmente, existem enormes expectativas para o crescimento do que se denomina de "economia verde" ou bioeconomia, a qual consiste na produção de biomateriais (biocombustíveis e bioprodutos químicos) a partir de matérias-primas renováveis da biomassa. A ênfase é na substituição do carbono fóssil por fontes de carbono renovável, no caso, aquele presente nas biomassas. Considera-se até mesmo que a "era do petróleo" deverá ser sucedida pela "era dos biomateriais". Quanto mais escasso e caro se tornar o petróleo como fonte de energéticos e de insumos para a indústria química, mais rapidamente as tecnologias e os negócios a partir da biomassa ocuparão espaço e crescerão na economia global. Tem havido inclusive forte apoio governamental para que isso aconteça em países da Europa e América do Norte. As metas são focadas na redução da dependência do petróleo e em uma matriz energética mais verde e renovável. Acontece amigos, que pensar na biomassa apenas como fonte de energia é uma aproximação muito pobre e limitada, em função das inúmeras alternativas que ela oferece.

Como tem acontecido uma corrida acadêmica até mesmo inusitada para pesquisas sobre biorrefinarias e tecnologias para biocombustíveis e biomateriais aplicadas às biomassas, espera-se que esse "boom tecnológico" seja enorme, capaz de disponibilizar tecnologias prioritárias, essenciais e competitivas para que essa bioeconomia se torne uma realidade em prazo de tempo não muito distante. Cada vez mais se vislumbra a possível decadência da era do petróleo e a necessidade de se encontrar uma alternativa viável e sustentável para ela. Uma das alternativas tem sido exatamente a biomassa vegetal.

Entende-se por biomassa todo material biológico não fóssil produzido pelos seres vivos, sejam fungos, algas, árvores, animais, microrganismos, etc. Entretanto, do ponto de vista aplicado, biomassa tem sido mais associada ao material fotossintético produzido por plantas, seja na forma de árvores (florestas) ou culturas anuais. Os empreendedores e os cientistas se encantam com a biomassa lignocelulósica produzida pelas florestas e cultivos anuais de rápido crescimento e sonham com os desenvolvimentos que poderão ocorrer a partir desses materiais. Por essa razão é que existem milhares de experimentos acontecendo em termos de buscar inovações a partir dos materiais lignocelulósicos produzidos por florestas de eucaliptos, plantações de bambu, capim elefante, cana de açúcar, cultivos anuais agrícolas, etc. Todos esses vegetais e muitos de seus resíduos orgânicos são grandes ofertantes de biomassa para uso energético, desde que encontrem as condições requeridas para que isso ocorra.

A biomassa fotossintetizada é produzida por qualquer vegetal clorofilado a partir de uma reação muito simples, que consiste na captura do gás carbônico da atmosfera e na sua reação com água para formação de compostos ricos em energia (açúcares). Isso ocorre graças à presença dos cloroplastos das células vegetais, ricos em clorofila para catalisar essa reação de captura e armazenamento da energia luminosa do sol em compostos energéticos como os carboidratos. Com o metabolismo das plantas, outros compostos se formam, como lignina, proteínas, suberina, oxigênio, etc. A lignina, por exemplo, é até mais rica em teor de carbono que os carboidratos, sendo, por isso mesmo, mais vantajosa em termos energéticos, já que consegue armazenar e liberar mais bioenergia.



$6\ CO_2$ + $6\ H_2O$ ----------> $C_6H_{12}O_6$ + $6\ O_2$

Gás carbônico Água Glucose Oxigênio

Dessa forma, a produção de biomassa se dá através de um processo metabólico vegetal que oferece enorme vantagem econômica, pois muitas plantas (árvores e gramíneas) trabalham eficientemente, produzindo muita matéria seca energética a baixos custos.

As plantas capturam o gás carbônico da atmosfera, reagem o mesmo com a água e conseguem dessa forma quatro benefícios importantes para a Natureza e para os seres humanos: conversão de energia solar em energia química, produção de oxigênio, redução do teor de gás carbônico nos gases da atmosfera e produção de alimentos.

Caso se disponham de solos, vegetais especializados, nutrientes e água, pode-se potencializar a produção fotossintética em plantações energéticas, aumentando assim a oferta de biocombustíveis para utilização pela sociedade. Por isso mesmo, a biomassa tem sido uma aposta importante do País e se espera que ela possa oferecer crescentes oportunidades de novos negócios à sociedade brasileira.

Biomassa do capim elefante, também uma aposta energética importante

Atualmente, frente às inúmeras oportunidades para as biomassas, elas já passaram a serem divididas e classificadas em grandes grupos. Isso favorece disciplinar os setores produtivos e estimular os processos prioritários.

Uma das formas de se classificar as biomassas é quanto a origem das mesmas:

- Biomassas energéticas de primeira geração: produtos de biomassa derivados de plantas que foram especializadas para serem cultivadas, colhidas e utilizadas para geração de energia. Por exemplo: plantações energéticas de árvores, bambus, gramíneas de ciclo curto, cana de açúcar, etc.

- Biomassas energéticas de segunda geração: podem ser resíduos de biomassa que sobram ou nas áreas rurais/florestais ou nas empresas industriais de conversão de produtos derivados de vegetais (madeira, café, amendoim, arroz, etc.). Nesse segundo

grupo estão os resíduos da indústria da cana de açúcar (bagaço de cana), da indústria de alimentos (cascas de arroz, café, amendoim, etc.), da indústria moveleira, da indústria de chapas e painéis de madeira, da indústria de celulose e papel, etc.

Também podem ser enquadrados nessa classificação os lodos orgânicos fibrosos das fábricas de celulose e papel, os lodos orgânicos de estações de tratamento de efluentes, etc.

Até pouco tempo atrás, a biomassa residual das plantações florestais eram resíduos que os produtores de florestas acabavam queimando ou se desfazendo para redução de riscos de pragas, doenças ou incêndios, como também para deixar o campo limpo para outras atividades agrícolas ou florestais que seriam aplicadas em sequência. Hoje, esse resíduo da colheita não é mais assim enxergado pelos produtores florestais, mas sim como um novo recurso comercializável a mercados demandantes por ele, capaz, portanto de diversificar a produção florestal e oferecer novos resultados para o negócio de base florestal.

Outra forma acadêmica de classificar os produtos derivados da biomassa florestal é quanto à sequência, ordem ou ciclo dos processos termoquímicos de conversão desses produtos energéticos.

Por exemplo, a energia contida na lenha ou nos cavacos de madeira para uso energético nunca sofreu processo de conversão ou modificação termoquímica, sendo dessa forma denominada de "Energia Primária da Biomassa". Quando essa energia for liberada total ou parcialmente, será seu primeiro processo de modificação termoquímica.

Já as energias do gás produzido pela gaseificação da madeira, do bioóleo obtido na pirólise rápida, do carvão vegetal e dos gases voláteis combustíveis resultantes do processo de carbonização da madeira - e tantos outros derivados energéticos da biomassa, são classificados como fontes de "Energia Secundária da Biomassa". Isso porque essa energia não está mais na qualidade e na quantidade da biomassa original que a continha.

A cada processo de conversão termoquímica temos alterações na estrutura, morfologia, tipo, formato, densidade energética e poder calorífico da biomassa. Também existem modificações físico-químicas que podem ser significativas, como são os casos do etanol lignocelulósico obtido a partir de produtos sólidos de biomassa; ou da lignina extraída do licor preto do processo kraft de produção de celulose. Também existem perdas de rendimento mássico e gastos energéticos, que muitas vezes não são pequenos.

Seguem alguns exemplos de produtos energéticos de biomassa que vêm sendo utilizados pela sociedade:

Fontes energéticas primárias de biomassa:

- Lenha;
- Cavacos de madeira;
- Resíduos florestais triturados ou convertidos em cavacos;
- Resíduos de processos de industrialização mecânica da madeira (serragem, cascas, lascas, palitos, refilos, costaneiras, pós de lixamento, sobras de processos, etc.);
- Resíduos agrícolas e da industrialização de produtos agrícolas (cascas e palhas, etc.);
- Péletes e briquetes;
- Podas de árvores urbanas;
- Etc.

Fontes energéticas secundárias de biomassa:

- Carvão vegetal;
- Madeira torrificada;
- Bioóleo;
- Lignina energética;
- Biogás da digestão anaeróbica de resíduos orgânicos;
- Gás obtido pela gaseificação de biomassa;
- Etanol lignocelulósico;
- Licor preto kraft;
- Etc.

A biomassa já representa hoje cerca de 14% da totalidade dos recursos energéticos em uso no País e praticamente 7% da geração da eletricidade. Existem expectativas positivas para que cresça ainda mais rapidamente, em função do estímulo para as plantações florestais para finalidades energéticas e pelo uso da madeira em novos tipos de negócios (biorrefinarias de biomassa), que podem produzir combustíveis sólidos, líquidos e gasosos a partir de qualquer tipo de biomassa vegetal.

Não podemos também nos esquecer da importante participação da biomassa das florestas plantadas para a produção de carvão vegetal,

tanto para finalidades domésticas como para fins de siderurgia. O Brasil é o principal país produtor de carvão vegetal, tendo tido enorme destaque na produção de florestas energéticas orientadas para esse tipo de finalidade, no desenvolvimento de processos tecnológicos de conversão da madeira a carvão e na utilização de subprodutos da carbonização (materiais voláteis, ácido pirolenhoso e alcatrão da madeira).

Como já ressaltado, a biomassa florestal não é o único tipo de produto fotossintético que espera por sucesso nas novas plataformas de negócios verdes da bioenergia. Outros vegetais já têm mostrado vocação para atuar nesse campo promissor, como: capim elefante (*Pennisetum* spp.), braquiária (*Brachiaria* sp.), bambu (*Bambusa* sp.) e o tradicional bagaço de cana de açúcar.

Apesar de alguns deles apresentarem menor poder calorífico por tonelada de matéria seca em relação à madeira do eucalipto, são plantas que produzem altas quantidades de biomassa por hectare.ano, o que as viabiliza e potencializa seu uso nos negócios da economia verde.

Exemplos:

Pennisetum purpureum ..... 25 a 45 t secas/ha.ano

Brachiaria ..... 25 – 35 t secas/ha.ano

Eucalyptus spp. ..... 20 – 25 t secas/ha.ano

Bambusa vulgaris ..... 15 a 25 t secas/ha.ano

A bioeconomia hoje tem seu foco direcionado para a bioenergia, já que esse é o ponto mais crítico em função da monumental demanda de energéticos por uma população crescente e exigente em bens e serviços que consomem muita energia.

Essa economia verde baseada em geração de biocombustíveis e bioprodutos derivados da biomassa pretende ser vista pela sociedade como sendo: verde, renovável, sustentável, ecoeficiente, competitiva e rentável. As fontes de carbono renovável devem estar em consonância com as recomendações do MDL – Mecanismo do Desenvolvimento Limpo e do Protocolo de Kyoto.

Os diversos centros inovadores que buscam desenvolver os fundamentos dessa nova era econômica estão muito conscientes que a mudança não deve ser apenas na troca do tipo de materiais (de petróleo para biomassa), mas sim na criação de um modelo que garanta sustentabilidade para a civilização humana no planeta. Afinal, eles

também sabem muito bem que nem tudo que é de origem verde pode ser obtido e convertido de forma sustentável e legal.

Apesar de nunca se ter tido tanto esforço de pesquisa sobre essa temática, existe ainda uma enorme necessidade de que sejam desenvolvidas novas tecnologias de conversão de biomassa em biocombustíveis e bioprodutos. Em especial, essas tecnologias devem ser competitivas, eficientes e devem ter escala de produção e garantir rentabilidade aos investidores.

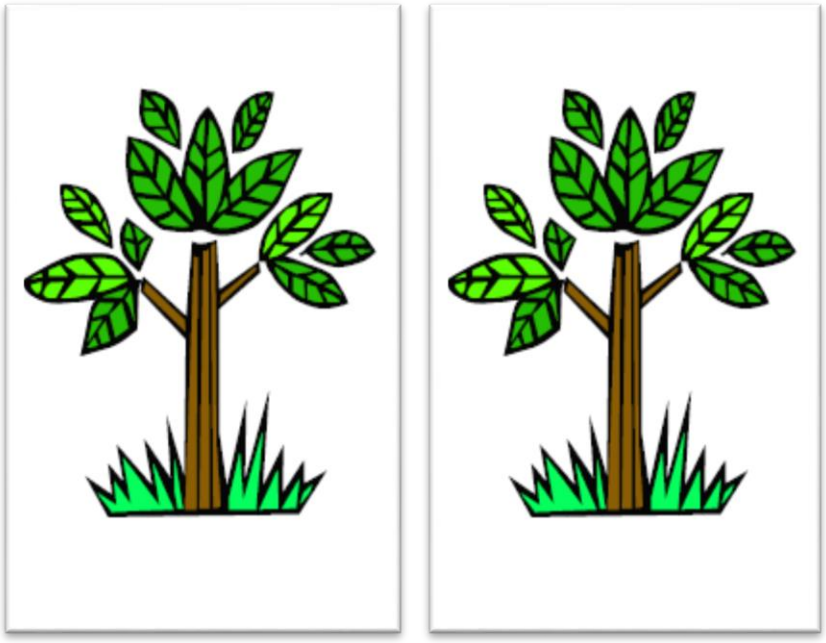
A maior dificuldade dessas novas tecnologias é exatamente se mostrarem competitivas com as tecnologias já consagradas da era do petróleo, as quais já possuem competitividade alavancada ao longo de décadas. Essas últimas possuem também muita produtividade e grandes escalas produtivas, o que dificulta a entrada das novas tecnologias da era dos biomateriais. Por isso mesmo, cabe aos investidores e empresários acreditarem fortemente que o futuro está chegando, e por isso mesmo, devem investir nessas tecnologias, assumindo riscos e pagando certo preço para que elas se viabilizem sem onerar a sociedade durante essa fase de desenvolvimento.

Evidentemente sempre fica a questão: até que ponto os consumidores e os governos estarão dispostos a pagar e gastar mais para se dispor de combustíveis de fontes renováveis em relação aos combustíveis de origem fóssil? Por isso, a bioeconomia não apenas depende das tecnologias e das matérias-primas, mas também de um enorme esforço global de comunicação e conscientização da sociedade como um todo.

As principais biomassas que estão sendo foco das pesquisas e dos potenciais investidores da bioeconomia são:

- Florestas plantadas de rápido crescimento;
- Florestas naturais de manejo comercial;
- Culturas agrícolas focadas em produção de bioenergéticos;
- Algas;
- Resíduos municipais de natureza orgânica;
- Resíduos industriais de natureza orgânica;
- Resíduos agrícolas e florestais de natureza orgânica; etc.

As novas fábricas que operarão essas biomassas para manufatura de bioprodutos e biocombustíveis vêm sendo denominadas de biorrefinarias, em similaridade às refinarias de petróleo. O prefixo bio foi introduzido para indicar que essas fábricas devem ser tão eficientes quanto às refinarias de petróleo, mas usando matérias-primas verdes e renováveis de biomassa.



Os modelos e as rotas tecnológicas para o crescimento da utilização das biomassas são múltiplos e diversas. Existem centenas de alternativas sendo estudadas: algumas com chances de sucesso imediato, outras em plena operação comercial, enquanto outras são sonhos que jamais se tornarão realidade (talvez, uma grande parte delas).

As rotas tecnológicas e seu sucesso dependerão muito de:

- Biomassa disponível (tipo, custo, qualidade, distâncias, etc.);
- Processos tecnológicos de conversão;
- Mercado de produtos (crescimento, incentivos, etc.);
- Alternativas de outros produtos concorrentes;
- Custos, preços e viabilidades.

Existe forte interação entre esses componentes da competitividade, mas ainda não são bem conhecidas ou entendidas.

As combinações técnicas e comerciais são ilimitadas, até ao ponto de se dizer que se está criando não uma bioeconomia, mas uma biomania.

Não existem ainda padrões fixos, há gente atirando para todos os lados, para tentar caçar algo, em especial os pesquisadores da academia e dos centros tecnológicos. Com isso, a geração de patentes é enorme – maior ainda o número de publicações técnicas e científicas nesse tema.

Os principais vetores alavancadores para a crescente utilização das biomassas são os seguintes:

- Necessidade de se reduzir a dependência do petróleo;
- Políticas industriais, tecnológicas e de consumo em alguns países líderes, os quais estão fomentando o rápido desenvolvimento dos biocombustíveis e bioprodutos;
- Necessidade de dinamizar e revitalizar a economia, com geração de novos empregos e criação de riquezas;
- Diversificação dos negócios para a indústria, em especial para empresas que já atuam no setor de biomassa (base florestal e base agrícola), permitindo que essas indústrias passem a crescer localmente e ocupem o espaço, que gradualmente será disponibilizado pela indústria petrolífera;
- Similaridade entre muitos dos processos e equipamentos utilizados para produção de energia (calor, vapor e eletricidade) seja a partir de combustíveis fósseis ou de biomassas vegetais.

Todos esses esforços e enorme criatividade alocados para a bioeconomia e biorrefinarias deverão abrir novas janelas para a indústria do agronegócio (agricultura e silvicultura), tais como:

- <u>Aumento de competitividade</u>:
    - Pelo desenvolvimento de novos produtos de maior valor agregado em relação aos que se obtêm hoje a partir da química convencional ou da mera combustão da biomassa;

- Incrementos de produtividade e de ecoeficiência, em especial da energética;

- Maior flexibilidade na manufatura de produtos em sistemas integrados de grande versatilidade tecnológica e industrial;

- Possibilidades de ganho de competitividade a empresas de pequeno e médio porte que hoje perdem espaço em função da escala de produção em alguns tipos de negócios (como produção de celulose e papel);

- Redução dos custos energéticos pelo maior uso de resíduos de cultivos e de processos industriais.

- Diversificação dos negócios com biomassa:

  - Potencial de produção de enormes estoques de biomassa de forma renovável e sustentável;

  - Grande diversidade de fontes potenciais de biomassas já existentes e ainda não utilizadas de forma sustentável e racional;

  - Excepcionais oportunidades para a agricultura e para o setor de base florestal em plantações de biomassa.

- Qualidade ambiental e social:

  - Desenvolvimento de produtos renováveis, recicláveis, biodegradáveis e de menor impacto ambiental;

  - Redução da participação dos combustíveis fósseis na matriz energética global. Menor dependência de materiais de origem fóssil (petróleo, gás natural, carvão mineral, etc.).

  - Colaboração para redução do efeito estufa e aquecimento global;

  - Prevenção das contaminações aérea, líquida e sólida pela adoção de processos mais verdes e menos impactantes;

- Utilização de resíduos agrícolas, florestais, industriais e urbanos como matérias-primas (foco muito grande na eliminação ou reuso de materiais que sobram como resíduos);

- Revitalização de processos industriais obsoletos e de baixa eficiência;

- Revitalização de áreas geográficas já degradadas pelo uso intensivo da agricultura, pecuária ou mineração;

- Oportunidades de ecoeficiência para os setores industriais geradores de resíduos orgânicos e poluentes aéreos;

- Maior efetividade na utilização dos recursos naturais;

- Certificações e selos verdes disponibilizarão a requerida garantia para a adoção das melhores práticas e tecnologias aos processos de produção, utilização e gerenciamento da biomassa.

- <u>Vantagens sociais para as comunidades rurais e urbanas</u>:

  - Atuação complementar e sinergística entre a agricultura, silvicultura e indústria;

  - Potencial de novos negócios na área rural e urbana;

  - Aumento da necessidade de materiais de origem agrícola e florestal;

  - Maior geração de empregos no campo;

  - Revitalização de comunidades rurais decadentes e pressionadas pelo atual modelo de economia;

  - Consumo consciente e uso racional sustentável dos recursos naturais.

- <u>Desenvolvimentos na área dos conhecimentos</u>:

  - Aumento dos investimentos em estudos e pesquisas sobre produção e utilização de energias limpas e renováveis;

  - Desenvolvimento de propriedade intelectual e industrial;

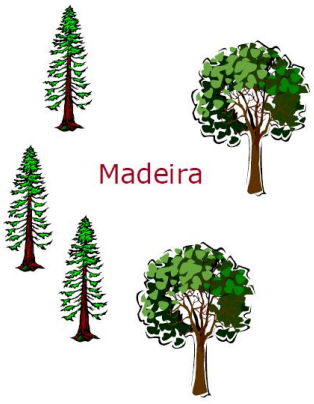
  - Desenvolvimento de novos materiais genéticos e adoção de novas tecnologias e biotecnologias orientadas à produção e uso energético das biomassas;

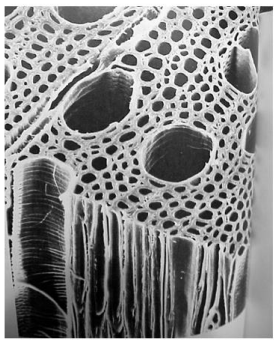
  - Utilização desses novos desenvolvimentos para atendimento das necessidades futuras da sociedade.

O mundo está vivendo um momento de transição de modelos econômicos e industriais. Existem inúmeros cenários possíveis e muitas visões de futuro. Esses modelos precisam dar certo, mas para que eles vinguem há necessidade de se reinventar a indústria e os consumidores também. Os prazos não são muito elásticos.

Além disso, a crise econômica que se iniciou no ano 2008 e continua até hoje está colaborando para reduzir o ímpeto das mudanças requeridas. O abaixamento do preço mundial do petróleo também tem sido outro obstáculo.

Existem dúvidas e incertezas, desde a seleção das matérias-primas até a seleção das tecnologias mais adequadas. Isso sem falar dos mercados, se eles vão ser atraídos ou não por alguns desses biocombustíveis e biomateriais.





TÓPICOS ESPECIAIS SOBRE BIOMASSA FLORESTAL

O Brasil é um país de enorme extensão territorial, que ainda é coberto em significativa proporção por florestas naturais, que foram ou continuam sendo exploradas para diversas finalidades, entre as quais as de cunho energético. O Brasil é também o país líder em produtividade florestal com suas florestas plantadas de eucaliptos e tem também demonstrado excepcionais resultados em outros tipos de florestas, como as de *Pinus, Acacia, Tectona*, etc.

A magnitude dessas vantagens confere ao País um enorme potencial para um futuro promissor na utilização energética das árvores, seja das florestas plantadas ou das matas naturais com planos de manejo licenciados com base em procedimentos sustentáveis.

As principais vantagens que as florestas plantadas apresentam ao Brasil como fontes de energia para a sociedade são as seguintes:

- ☆ Os produtos energéticos das florestas são renováveis, ao contrário dos combustíveis de origem fóssil;

- ☆ Redução das pressões para uso de recursos florestais naturais de biomas naturais já altamente danificados pelo uso intensivo dos mesmos.

- ☆ As florestas plantadas, em especial as de eucalipto, são altamente produtivas (entre 35 a 60 m^3/ha.ano), dependendo muito da intensidade do melhoramento genético, da qualidade do manejo e das tecnologias florestais, bem como das qualidades dos sítios

florestais e as adequações entre as árvores e os ambientes regionais.

- ☆ Existe amplo entendimento por parte do produtor rural nacional de que ele deve diversificar o seu agronegócio, melhorando assim seus resultados econômicos, sociais e ambientais, permitindo com isso o aumento das rendas e melhor disciplina nas entradas de receitas.

- ☆ Ampla disponibilidade de conhecimentos tecnológicos e crescente aumento das pesquisas focadas em qualidade e produtividade florestal e a sustentabilidade desses sistemas.

- ☆ Ampla aceitação dos processos de certificação florestal e dos sistemas ambientais através de normas internacionais de muita credibilidade na elaboração e na avaliação de conformidade.

- ☆ Nível de manejo adotado pelos plantadores é adequado em termos dos princípios de sustentabilidade e permite minimização dos impactos ambientais e sociais.

- ☆ Homogeneidade em qualidade, forma, volume e peso das árvores e dos produtos derivados de florestas clonais plantadas garantem maiores eficiências nas colheitas, logísticas e usos dos produtos da biomassa florestal.

- ☆ Custos e resultados econômicos competitivos.

- ☆ Potencial de adequações de clones específicos para distintos tipos de climas, solos, topografia, recursos hídricos, etc.

- ☆ Baixas exigências de nutrientes e de recursos naturais ajudam a se desenvolverem manejos e sistemas florestais mais ecoeficientes.

- ☆ Garantia de disponibilidade assegurada de biomassa independentemente do tempo e da época do ano (biomassa florestal pode ser caracterizada como isenta de sazonalidades).

Entretanto amigos, tudo vai depender de muito planejamento, determinação e compromisso empresarial, governamental e dos próprios cidadãos, que devem não apenas ajudar na fiscalização, mas exercer papel de consumidor consciente dos recursos oferecidos pela Natureza.

O interesse para implantações de florestas energéticas tem crescido bastante no Brasil e essas florestas têm ganhado inclusive outros nomes fantasias, como florestas dendroenergéticas ou fitoenergéticas.

Além das inúmeras vantagens já comentadas das florestas plantadas para fins energéticos, a própria biomassa florestal (madeira, cascas, resíduos, etc.) tem vantagens excepcionais para justificativa de sua utilização:

- Existe tradição milenar no uso energético da lenha para produção de calor e vapor, bem como são consagradas as tecnologias para produção de termeletricidade usando a biomassa florestal como fonte de energia primária para caldeiras, fornos e fornalhas.

- Existem tecnologias conhecidas, comprovadas e em constante evolução em termos de rendimentos, custos, eficiências e minimização de impactos ambientais.

- Os efeitos de poluentes aéreos podem ser minimizados, pois existem sistemas eficientes para redução de particulados gerados com a queima da biomassa e os níveis de poluentes de enxofre são minimizados pelo baixo teor desse elemento nas biomassas florestais. Os teores de cinzas são baixos para o caso da biomassa florestal, o que resulta em baixa geração de cinzas volantes nos gases de exaustão das fornalhas das caldeiras. Essas cinzas podem inclusive serem utilizadas como fertilizantes e corretivos de solos.

- A biomassa florestal é altamente versátil em sua utilização, podendo ser ajustada em termos de umidade, tamanho de partículas, densidade a granel e até mesmo em poder calorífico e densidade energética.

- A biomassa florestal pode ser produzida em fontes de suprimento nas proximidades dos locais de consumo, simplificando os custos de manuseio, transporte e estocagem.

- Os custos de produção de eletricidade e vapor são competitivos em relação a outras formas de produção (óleo combustível, gás natural, carvão mineral, etc.).

- Razoável poder calorífico da madeira, o que oportuniza razoável (mas não excepcional como o óleo combustível) quantidade de

energia primária por peso. Uma madeira de eucalipto com 30% de umidade pode apresentar poder calorífico útil de 2.900 Mcal/tonelada tal qual, ou seja, 12 GJ/t tal qual.

- Possibilidades para secagem natural das toras e resíduos de biomassa florestal (entre 45 a 90 dias no próprio campo permitem teores de umidade entre 30 a 40%).

- Homogeneidade da composição química (lignina, extrativos, holoceluloses, cinzas).

- Baixos teores de cinzas, enxofre e nitrogênio.

- Uniformidade das propriedades físico-mecânicas, principalmente para o caso das plantações clonais de eucaliptos.

- Potencialidade para o uso múltiplo dos produtos da floresta plantada, podendo a madeira ter inúmeras destinações, como bens de manufatura (papel, móveis, painéis, etc.) e bens energéticos (lenha, resíduos, casca, licor preto kraft, etc.).

- Possibilidades de uso da biomassa florestal alimentando caldeiras juntamente com outros combustíveis (óleo combustível, metanol, diesel, gás natural, etc.) em processos denominados de co-combustão ou combustão conjunta.

Em relação ao uso energético da biomassa florestal, existem também duas vantagens sistêmicas importantes para potencializar a sua adoção:

- Estrutura empresarial consolidada e atrativa no caso do setor de florestas plantadas no País;

- Gradual remoção das barreiras que impediam que o setor de base florestal se colocasse como vendedor privado de eletricidade (através geração distribuída ou de colocação de energia elétrica no sistema nacional de eletricidade). O setor de produção de celulose de mercado tem crescido substancialmente nesse particular, com suas potentes caldeiras alimentadas com biomassas florestais residuais da fábrica ou das florestas e também de árvores especialmente plantadas para esse tipo de energia.

Entretanto, nem tudo se reveste de aplausos, glórias ou sucessos. As biomassas florestais também possuem suas fraquezas técnicas, tecnológicas, ambientais e econômicas:

- São biocombustíveis de baixa densidade energética (menos quantidade de energia armazenada por unidade de volume do combustível). Por exemplo: densidade energética da lenha a 30% de umidade = 1,35 a 1,45 Gcal/st; densidade energética de cavacos de eucalipto com 30% de umidade = 0,8 Gcal/m³

- Poder calorífico é inferior ao do óleo combustível em uma relação de 3 a 4 vezes base pesos do óleo e da biomassa tal qual.

- Custos de manuseio, transporte e estocagem são elevados devido à baixa densidade aparente da biomassa florestal sem densificação (peletização ou briquetagem).

- Teor de umidade frequentemente muito variável, o que prejudica a qualidade da combustão e modifica o poder calorífico.

- Variação na qualidade dos resíduos em função de diferentes proporções de madeira, casca, galhos, etc.

- Granulometria e teores de cinzas variáveis, principalmente no caso dos resíduos florestais da colheita.

- Riscos de incêndios, até mesmo de autocombustão.

- Necessidade de pátios de estocagem adequados em termos de pavimentação e cobertura, seja para manutenção da limpeza ou umidade, como também para evitar impactos ambientais devidos à percolação de chorumes.

- Necessidade de etapas de preparo da biomassa para lavagem, limpeza, picagem ou trituração, classificação das partículas, prensagem, secagem, compactação, densificação, etc.

- Necessidade de escalas de produção elevadas para redução dos custos unitários do produto sendo fabricado (MWh de eletricidade, GJ de calor, Mcal de vapor, etc.).

- Necessidade de extensas áreas de plantações florestais para atendimento da demanda em material energético dessas unidades

produtivas, o que nem sempre é bem aceito pelas comunidades vizinhas.

- Inexistência de organização e disciplina nos mercados de biomassa florestal, com intensa rivalidade, oportunismo e falta de comportamento ético em muitos dos negócios.

- Intensa competição pela biomassa entre usos energéticos e não energéticos, o que provoca oscilações enormes nos preços e nas relações entre oferta/demanda.

Outros obstáculos importantes precisam ficar esclarecidos e minimizados pelos estudos tecnológicos e científicos, quais sejam:

- Minimização dos efeitos nocivos da contínua exportação de nutrientes do solo florestal, pois grande parte desses nutrientes segue com a biomassa para fora da área de produção florestal. Isso vai requerer esforços empresariais e compromissos para recomposição da fertilidade e qualidade dos solos, bem como monitoramento através de balanços nutricionais do sistema solo/plantas.

- Minimização de outros tipos de impactos ambientais ao solo (erosão, exposição, oxidação de carbono orgânico, perda de sedimentos, compactação), aos recursos hídricos (evapotranspiração, assoreamento e redução dos deflúvios verticais e horizontais) e à biodiversidade regional (sub-bosques, áreas de proteção ambiental e reservas legais, eco-mosaicos).

Todos esses fatores chaves acabam impactando em pontos de competitividade desse setor, para os quais se farão necessárias otimizações e planejamentos, que precisam ser devidamente orquestrados por parcerias entre governos, empresas e cidadãos. Essas otimizações vão demandar por mais esforços de pesquisas e estudos para geração de novos conhecimentos e descoberta das rotas mais potenciais ou viáveis. Isso sem falar das necessidades de capital para investimentos e adequação dos mercados. Entretanto, isso tudo é perfeitamente viável, pois já existem diversos casos de sucesso operando no Brasil, seja para produção de calor, vapor e eletricidade a partir da biomassa florestal.

Existem também inúmeras oportunidades para as áreas de densificação da biomassa florestal, que permite não apenas aumentar a densidade energética dos materiais, mas também de convertê-los em materiais energéticos mais secos, concentrados, homogêneos, limpos, renováveis e com facilidades enormes de comercialização internacional.

A biomassa florestal pode ser uma aposta importante para o sucesso energético do País e se espera que ela possa representar crescentes oportunidades de negócios, empregos e tributos para a Nação. Para melhores resultados, há que se buscar uma maior integração entre as políticas florestais, industriais, energéticas e sociais, bem como dinamizar a legislação e os processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos.

Até o momento, discutimos que a biomassa florestal tem muitas possibilidades de crescer sua participação na matriz energética brasileira. Isso pode derivar do consumo crescente de lenha, cavacos, péletes, resíduos, carvão vegetal, lignina, licor preto kraft e muitos outros produtos biomássicos.

No momento atual, existe um consenso que ainda existe muita biomassa disponível na forma de excedentes lenhosos de florestas plantadas e de unidades industriais que a produzem ou utilizam. Esses excedentes seriam sobras de biomassa da colheita florestal ou dos processos industriais, conhecidos todos como resíduos de biomassa florestal. Tais excedentes conseguem suprir de energia primária muitas instalações que objetivam transformar ou usar essa biomassa para produção de vapor, calor ou eletricidade. Na maior parte das vezes, esses resíduos ou excedentes costumam ser aproveitados pela própria empresa que os gerou, em geral como biocombustível para queima ou para densificação com a criação de um produto novo para venda. Já no caso de resíduos lenhosos das indústrias moveleira e de processamento mecânico da madeira (serrarias, laminadoras, etc.), os resíduos são beneficiados (limpeza, segregação, picagem e/ou secagem) e são comercializados para queima em mercados altamente demandantes nas regiões onde estão instaladas.

Diversos tipos de processos industriais consomem biomassa florestal energética, sendo os principais os fabricantes de:

- Eletricidade;
- Celulose e papel;

- Chapas e painéis de madeira;
- Cimento;
- Carvão vegetal para siderurgia;
- Carvão vegetal para usos domésticos;
- Alimentos e bebidas;
- Químicos e derivados;
- Têxteis;
- Cerâmicas e tijolos;
- Fumo e erva-mate;
- Minérios pelotizados;
- Derivados de madeira: palitos de fósforo e de dentes, serrarias, postes, estacas, moirões, etc., etc.;
- Materiais de construção industrial: refratários, vidros, etc.

Além dos usos industriais, a biomassa energética florestal abastece muitas empresas do setor de serviços (hospitais, restaurantes, hotéis, lavanderias, supermercados, etc.) e residências domésticas (cocção, calefação, aquecimento de água, etc.).

O uso agrícola também é significativo para secagem de grãos (arroz, soja, trigo, milho) e de folhas (fumo e erva mate), bem como na criação e abate de animais (granjas, frigoríficos, etc.).

As principais formas de biomassa florestal lenhosa que possuem significativas participações nos mercados são:

<u>Produtos Sólidos:</u>

- φ Lenha (toras de madeira cortadas em comprimentos pré-fixados, com ou sem casca, com secagem parcial até 25 a 45% de umidade);

- Cavacos de madeira;
- Briquetes de madeira (ou de resíduos florestais) ou de resíduos finos de carvão vegetal ou de madeira torrificada;
- Idem para péletes;
- Resíduos da colheita florestal (cavacos triturados de galhos, cascas, toras finas e toretes com casca, tocos e cepas, etc.);
- Resíduos da industrialização da madeira (cavacos, "hogged fuel", pó de lixamento, refilos, costaneiras, maravalhas, raspas, lascas, casca picada, etc.);
- Resíduos de empresas industriais que consomem madeira (carvão residual nas cinzas da caldeira, lodo primário fibroso de fábricas de celulose e papel, restos de limpeza de pátios de madeira, etc.).

<u>Biocombustíveis líquidos de energia secundária resultantes de processos de conversão da biomassa:</u>

- Carvão vegetal;
- Licor preto kraft;
- Bioóleo;
- Metanol derivado da madeira;
- Etanol lignocelulósico;
- Etc.

<u>Biocombustíveis gasosos de energia secundária resultantes de processos de conversão da biomassa:</u>

- Compostos voláteis da carbonização da madeira;

- Gás combustível derivado da gaseificação da biomassa;
- Dimetil éter;
- Biogás derivado da fermentação anaeróbica de cascas e resíduos orgânicos diversos; etc.

Os principais tipos de biomassa florestal utilizados pelos brasileiros (indústrias e cidadãos) como fontes de energia são os seguintes:

- Lenha, palavra originada do termo botânico lenho, que significa xilema ou madeira;
- Licor preto kraft das fábricas de celulose;
- Carvão vegetal e derivados;
- Cavacos derivados da picagem de toras de fuste com casca, pois a casca também é importante energético;
- Resíduos dos processos de industrialização da madeira;
- Péletes de briquetes;
- "Hogged fuel" ou resíduos florestais mistos triturados por picadores industriais ou agrícolas, com variadas proporções de madeira, casca, galhos, folhas, etc. Esse resíduo misto pode também incluir resíduos da industrialização da madeira, dependendo do processo e do tipo de empresa que comercializa esses resíduos.

Sob a denominação de resíduos florestais ou "hogged fuel" praticamente se inclui uma grande e variada mistura de tipos de resíduos, o que causa enormes flutuações de qualidade e desempenho desse material energético.

Acontece que cada um dos constituintes do resíduo misto pode ter propriedades energéticas tão diferentes que acabam atuando como combustíveis individuais. Quando se misturam resíduos de casca úmida, serragem de madeira semi-seca e maravalhas altamente secas, as partículas com tamanhos e umidades diferentes para cada resíduo

atuariam dentro da fornalha da caldeira de formas distintas. Uma partícula de maravalha se queima rapidamente, mas pela sua leveza acaba sendo levada junto aos gases de exaustão e pode acabar não tendo combustão completa. Já uma partícula grosseira de casca úmida tenderá a cair no fundo da fornalha da caldeira, e queimará quase que inteiramente, pois ficará até finalizar sua combustão.

Os equipamentos que convertem esses diferentes tipos de biomassa florestal e liberam suas energias para uso imediato são os seguintes:

- Caldeiras de força em usinas termelétricas alimentadas por biomassa para produção de vapor superaquecido, que posteriormente é convertido em eletricidade por turbogeradores;
- Caldeiras de recuperação de fábricas de celulose kraft, queimando o licor preto kraft (após concentração) formado durante a polpação da madeira para individualização de suas fibras celulósicas;
- Fornos de carbonização para produção de carvão vegetal;
- Fornos de cal e de cimento;
- Fornos e fornalhas para aquecimento de água ou ar, usados em processos de aquecimento e secagem de materiais;
- Queimadores para produção de calor radiante utilizado em alguns tipos de processos de secagem;
- Gaseificadores industriais para produção de gás combustível derivado da madeira e resíduos florestais;
- Pirolisadores para produção de bioóleo;
- Fornos para produção de biomassa torrificada; etc.

Dentre os diferentes setores industriais, um que se destaca no uso de biomassa florestal é o setor de fabricação de celulose de mercado ou

de papel (fábricas integradas produzindo celulose e papel simultaneamente). Essas fábricas são intensivas no uso de energia, mas em geral possuem alto nível de suficiência própria, pois o licor preto do processo dominante kraft acaba sustentando toda a necessidade em eletricidade e vapor de uma fábrica moderna de celulose de mercado, além de gerar alguma eletricidade excedente para venda. Somando-se a produção de eletricidade e vapor em caldeiras de força (biomassa florestal), essas fábricas atuam como usinas de força e são produtoras significativas de potência elétrica para uso próprio e venda. Além disso, o setor de celulose e papel tem tido avanços notáveis em termos de engenharia de seus processos e sistemas, com operações e equipamentos mais limpos e ecoeficientes.

A matriz energética como um todo desse setor no Brasil (todas as fábricas de celulose e papel) registra que mais de 75% da energia consumida deriva de biomassa florestal.

As fábricas de celulose de mercado quase não precisam de energia externa; apenas cerca de 1,0 – 1,5 GJ de combustível fóssil comprado/tonelada de celulose produzida. Elas atuam mais como empresas âncoras para produção de eletricidade e vapor e costumam ter clientes em arranjos produtivos locais, sendo consideradas empresas de geração distribuída de eletricidade. Também é comum que as fábricas de celulose do tipo estado-da-arte tenham excedentes de eletricidade para descarregarem para comercialização no sistema elétrico nacional.

Já as fábricas de papel não integradas, principalmente as de médio a pequeno porte, acabam tendo que comprar eletricidade do sistema elétrico de concessionárias de eletricidade originada de hidrelétricas ou termelétricas. Há casos de fábricas de papel não integradas que compram eletricidade, vapor e fibras de fábrica de celulose de mercado, localizada no mesmo arranjo produtivo.

Atualmente, pode-se afirmar sem medo de errar que as fábricas de celulose de mercado atuam como usinas termelétricas exemplares, queimando como biocombustíveis o licor preto kraft e os resíduos de biomassa florestal que sobram em seus processos fabris e em suas florestas plantadas.

O quadro a seguir mostra o nível de eficiência energética de uma moderna fábrica de celulose kraft branqueada de eucalipto, com indicações de quando ela produz e quanto ela exporta de potência elétrica para venda externa:

Produção, consumo e oferta de excedentes de bioeletricidade em fábricas de celulose kraft de 1.500.000 toneladas secas ao ar/ano:

	Fábricas modernas	**Fábricas estado-da-arte**
Geração total de vapor pelo licor preto (GJ/adt)	15	15
Consumo vapor de processo (GJ/adt)	11	10,5
Vapor para eletricidade (GJ/adt)	4	4,5
Geração eletricidade (licor preto) (kWh/adt)	800	900
Geração de potência (licor preto) (MW)	145	160
Consumo eletricidade processo (kWh/adt)	600	550
Excedente eletricidade (licor preto) (kWh/adt)	200	350
Excedente de potência (MW)	36	62
Consumo óleo combustível forno de cal (kg/adt)	35	25-30
Eventual geração extra de eletricidade em caldeira de biomassa (MW)	60	60
Geração total eletricidade (MW)	205	220
Excedente para venda (MW)	96	122
Excedente para venda (kWh/adt)	530	680
% Excedente sobre geração total	47	55,5

Caso a caldeira de biomassa seja maior, maior será o excedente para venda.
Conversão de unidades: 1 MWh = 3,6 GJ ou 1 kWh = 3,6 MJ

Dentre os resíduos de biomassa florestal energética que são consumidos pelas fábricas de celulose e papel em suas caldeiras de força para geração de vapor e eletricidade, destacam-se:

- Casca do descascamento de toras;

- Cavacos de dimensões inadequadas aos processos de fabricação de celulose (lascas, serragem, cavacos sobre-espessos, pó de madeira, etc.);

- Palitos e nós resultantes da depuração da celulose não branqueada;

- Lodos primário e secundário biológico da estação de tratamento de efluentes;

- Resíduos de papel que não sejam adequados para reciclagem (contaminados com graxas, óleos, etc.); etc.

Entretanto, o licor preto é definitivamente o grande herói energético das modernas fábricas de celulose kraft. Somente ele consegue suprir, com folgas, todas as necessidades em eletricidade e vapor de uma fábrica desse tipo. Esse licor é formado no processo de individualização das fibras ou células da madeira (polpação kraft), o que acontece em vasos de altas pressão e temperatura denominados de digestores. Como resultado da polpação, cerca de 50% da madeira é dissolvida (lignina, extrativos e compostos celulósicos). Os constituintes solubilizados passam para a fase líquida, tomando uma cor preta escura, daí o nome licor preto ou negro. Esse licor é a seguir evaporado em sistemas de evaporação de múltiplos efeitos até se atingirem teores de umidade entre 20 a 30%. Esse biocombustível, entretanto, é rico em cinzas (cerca de 35 a 45%), resultantes dos compostos minerais de sódio que causam a deslignificação ou cozimento dos cavacos de madeira.

Em razão da alta presença de sais minerais em sua constituição, o poder calorífico do licor preto não é muito alto, sendo inferior ao da madeira. Para as fábricas de celulose kraft de eucalipto, o poder calorífico inferior do licor preto em base de sólidos secos varia entre 11 a 14 GJ/tonelada (2.650 a 3.350 Mcal/tonelada seca), enquanto o da madeira varia entre 18 a 19 GJ/tonelada base seca (4.200 a 4.500 Mcal/tonelada seca)

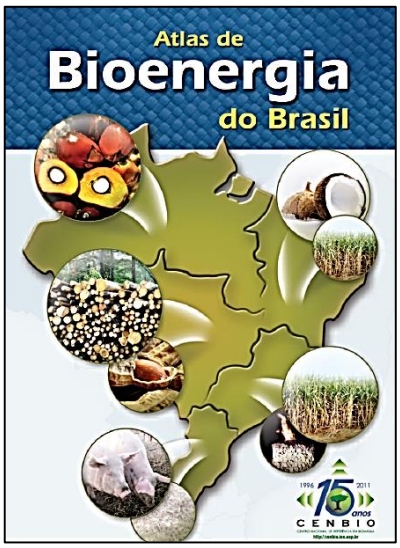
De qualquer forma, a energia de biomassa nas modernas fábricas de celulose de mercado corresponde a mais de 90% da energia total demandada pelas mesmas, ainda sobrando um excedente em eletricidade renovável para venda. Praticamente todas as fábricas de celulose de mercado e a maioria das fábricas não integradas de papel possuem uma ou mais caldeiras para geração ou apenas de vapor ou de cogeração para

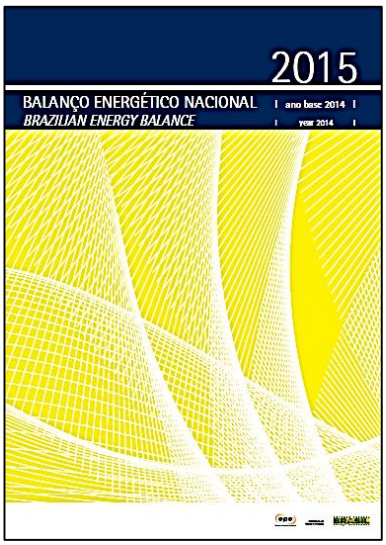
produção conjugada de eletricidade e vapor. Também existem muitas com caldeiras produzindo apenas eletricidade em turbinas de condensação, que embora possuam rendimentos não tão bons como no caso da cogeração, ainda são suficientemente competitivas para produção e comercialização de eletricidade.

A cogeração e a geração distribuída de eletricidade com biomassa de origem florestal são conhecidas, dominadas e não apresentam riscos tecnológicos. As tecnologias são fáceis de serem implantadas e operadas, além de disponíveis. Não há mistérios, podendo ser implantadas por empresas de todos os portes; porém também aqui escala de produção agrega maiores e melhores resultados.

As fábricas de celulose sabem muito bem interligar as redes de energia das caldeiras de recuperação e de força, mantendo assim anéis de vapor e redes de distribuição elétrica bem desenhadas e de alta eficiência. Estima-se que em 2015 o potencial de geração elétrica do setor de celulose e papel atinja cerca de 2.500 MW de potência, dependendo das entradas de novas unidades e da utilização de capacidade de suas termelétricas movidas a biomassa florestal.

Estatísticas nacionais para a biomassa florestal energética





Todas as estatísticas relatadas anualmente pelo MME – Ministério de Minas e Energia através de seus Balanços Energéticos Nacionais indicam um crescimento gradual do consumo de lenha e de licor preto (designado de lixívia) pelo Brasil. A biomassa, com um geral, representa quase 70% das fontes renováveis de energia, sendo que essas fontes renováveis têm representado aproximadamente 44% do consumo energético do País. Há fortes participações da lenha, licor preto e materiais energéticos da cana de açúcar (etanol e bagaço).

A biomassa florestal participa com 14% do total da energia consumida no Brasil, enquanto os derivados da cana de açúcar colaboram com 15,5% e a hidroeletricidade com 14%.

Dentre as demais fontes (combustíveis fósseis e energia atômica), o petróleo representa 38,5%, o gás natural 11,5%, o carvão mineral 5% e a energia atômica aproximadamente 1,5%.

Até os anos 40’s a lenha, o carvão vegetal e o gás de biomassa eram as principais fontes energéticas do Brasil. Somente após o *boom* do petróleo e o incentivo à instalação de hidrelétricas para geração dessa energia limpa é que a biomassa florestal perdeu espaço, que agora pretende recuperar para o futuro.

Hoje a biomassa florestal representa a terceira fonte de energia renovável na matriz energética brasileira, sendo superada pelos derivados da cana de açúcar e pela hidreletricidade. Entretanto, pela aposta global nas biomassas energéticas, acredita-se que em futuro não muito distante, essas fontes florestais e as derivadas da cana de açúcar deverão

aumentar de participação. Motivação é o que não falta no setor de base florestal e sucroalcooleiro. Até porque a burocracia para esses crescimentos com biomassa é bem menor, da mesma forma que os investimentos, em relação à indústria do petróleo e a instalação de novas hidrelétricas.

De acordo com Brito (2011), a madeira energética (lenha) no Brasil corresponde a 140 milhões de metros cúbicos, sendo que 70% desse consumo acontecem na região Sul e 24% no Sudeste.

Curiosamente, grande parte da biomassa florestal energética brasileira é oferecida modificada como uma fonte secundária de energia, ou seja, são produtos que foram obtidos de fontes primárias, ou seja, convertidos em carvão vegetal e em licor preto kraft. Portanto, o conceito de biorrefinarias já ocorre com intensidade no País já há algum tempo. Logo, a biomassa florestal mais uma vez revela toda sua plasticidade e flexibilidade, podendo serem produzidos energéticos nas formas tais quais a biomassa florestal é colhida ou modificada por processos termoquímicos ou físico-químicos.

Infelizmente, parte significativa do carvão vegetal brasileiro ainda provém de biomassas florestais nativas, mas essa não-conformidade ambiental deve ter seus dias contados por resultados da legislação e conscientização no setor.

Uma proporção significativa da biomassa agroflorestal é usada no País para geração de termeletricidade (bagaço, lenha, cavacos de madeira e resíduos florestais). De acordo com relatório executivo do BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (Vidal & Hora, 2011), a biomassa supre quase 7% da geração de toda a eletricidade no Brasil (5,43% pela queima do bagaço de cana; 1,11% pelo licor preto kraft e 0,27% pela madeira e resíduos energéticos).

Acredita-se que existam mais de 500 termelétricas a base de biomassa, com portes variados entre 1 a 100 MW de potência, gerando eletricidade e vapor no País. A maioria delas se baseia na combustão do bagaço de cana, mas crescem em importância as caldeiras de recuperação kraft e as caldeiras de força abastecidas com lenha, cavacos e/ou resíduos florestais.

Há muita variação nos custos de produção de cada unidade dessa eletricidade, pois as termelétricas são muito distintas em tecnologias e em escala de produção. Além disso, a competitividade é muito afetada pelas constantes interferências governamentais nos preços da eletricidade e pelas extremas variações no preço do petróleo.

Como o custo do transporte, estocagem e manuseio dessas biomassas são elevados pela baixa densidade aparente e energética

desses materiais de base florestal e agrícola, existem movimentos tendendo a peletizar ou briquetar essas biomassas para redução de custos em logística. A densificação da biomassa consegue reduzir a umidade nos materiais compactados para 8 a 15% e a densidade aparente das peças sólidas de péletes ou toretes de briquetes chegam a atingir 0,9 a 1,1 t/m³ sólido. A densidade a granel de péletes e briquetes também é bem melhor que o da lenha.

Alternativas definitivamente existem: o Brasil e o setor de biomassa energética estão certamente preparados para enfrentar o desafio que o mundo exige hoje, que é a redução das emissões de GEE – Gases de Efeito Estufa e uso de energia limpa e renovável.

Também existem pressões e mobilizações para um melhor uso das energias, sejam elas fósseis ou renováveis. *Sabendo usar, vai faltar menos, ou vai demorar mais para faltar mesmo*.

Existe muito espaço para se melhorarem equipamentos, tecnologias, cuidados e práticas operacionais e consciência dos usuários. Isso em todos os níveis de processos e produtos no globo todo.

Com adequados projetos, boa qualidade da biomassa florestal ou agrícola, e custos de produção competitivos, não há dúvidas que o setor de geração de eletricidade, calor e vapor de biomassa poderá ser muito atrativo para novos investimentos. A racionalização nos processos, a ecoeficiência, a melhoria nas práticas e gestão, a conscientização dos empresários e cidadãos e o monitoramento e controles com certeza irão ajudar a melhorar rendimentos e reduzir desperdícios e custos de produção. Enfim, há muita coisa para ser feita, mas conhecimentos existem e biomassa pode ser plantada nas florestas e na agricultura: com responsabilidade e compromissos socioambientais, por favor.

A BIOMASSA FLORESTAL NA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO

]

Duas das principais atratividades para os produtos energéticos derivados das florestas são os fatos de serem fontes renováveis de energia e capazes de sequestrar e armazenar carbono atmosférico (no caso, absorção de gás carbônico e fixação na forma de matéria orgânica). Ao se obter uma biomassa energética de uma floresta plantada, mesmo que essa biomassa seja queimada em uma termelétrica, liberando assim gás carbônico com sua queima, esse gás carbônico não é de uma fonte fóssil, logo não estará colaborando para aumentar a concentração dos gases de efeito estufa. Ao se renovar essa floresta em uma nova rotação de árvores, quantidade equivalente de gás carbônico será novamente sequestrado e fixado, daí a renovabilidade ser uma característica essencial e desejada pelos mecanismos de desenvolvimento limpo.

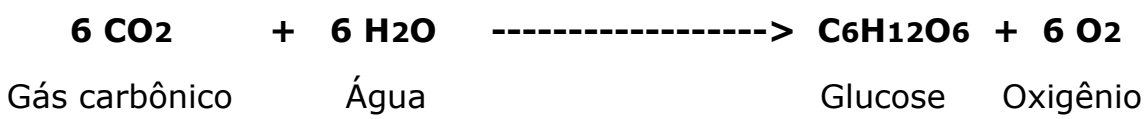
Por outro lado, uma usina termelétrica movida a biomassa florestal vai depender da manutenção de uma base florestal plantada em diversos níveis de crescimento e idades, para garantia de suprimento contínuo de biocombustível para suas operações. Por exemplo, se uma termelétrica baseada em cavacos de madeira consumir cerca de 3.000 hectares de florestas plantadas de eucalipto por ano, ela vai necessitar de uma área

de efetivo plantio correspondente a 21.000 hectares, caso se colha a floresta aos 7 anos.

Essa base florestal deverá ficar intocável e contendo árvores e áreas em diferentes níveis de idade florestal. Ela representa um banco de carbono estocado que permanecerá sempre fixado e sequestrado, durante o tempo de vida dessa termelétrica. Essa poupança de carbono fixado conterá madeira, casca, galhos, folhas, raízes, serapilheira e material humificado no solo florestal. Enfim, essa floresta guardará muito carbono, que foi removido da atmosfera e permanecerá sequestrado, aguardando cada molécula de gás carbônico o seu momento de voltar ao ciclo com a queima, mas outra estará retomando o seu lugar no estoque, pois interessa à termelétrica sempre manter as florestas em contínua produção. Tão logo uma área seja colhida, outra estará sendo plantada ou reformada para substitui-la.

Além dessa poupança, existe outra ainda mais ambientalmente sadia ainda, que são as áreas de preservação permanente e de reservas legais, que o empreendimento florestal deverá manter para atendimento dos requisitos de qualquer projeto florestal para fins econômicos. Essa área preservada em geral corresponde a cerca de 35 a 50% da área total que uma empresa de base florestal administra. Ou seja, para cada unidade de área de efetiva produção florestal o setor preserva entre 0,7 a 1. Também essa área intocável de matas nativas estará estocando carbono atmosférico, que foi fixado pelo mesmo processo de fotossíntese, que as florestas plantadas tão bem executam.

A reação de fotossíntese já lhes foi apresentada:



Por simples estequiometria, a cada tonelada de glucose produzida pelas florestas são sequestradas 1,467 toneladas de gás carbônico e liberadas 1,067 toneladas de oxigênio para a atmosfera. Dessa maneira, as florestas plantadas não apenas removem gás carbônico, mas adicionam oxigênio na atmosfera.

Além disso, as plantas não produzem apenas glucose, mas também extrativos, lignina, hemiceluloses e celulose, que são obtidos pelo metabolismo e conversão dessa glucose original. Lignina e extrativos são mais ricos em carbono que a celulose e hemiceluloses. Como o teor médio de carbono elementar na biomassa florestal está próximo a 48-49%, enquanto na glucose é de 40%, a fixação de carbono atmosférico pelas árvores é maior do que o valor estequiométrico referido para a glucose.

Os estudos da literatura indicam que, em média, a cada tonelada de matéria seca fixada pela biomassa florestal do eucalipto são sequestradas da atmosfera cerca de 1,8 toneladas de gás carbônico e liberados 1,3 toneladas de oxigênio.

Entretanto, as coisas não são assim tão simples no metabolismo celular vegetal. Existe uma diferença significativa entre o gás carbônico que a planta utiliza da atmosfera e a que ela realmente fixa. Isso porque os vegetais produzem maior quantidade de matéria orgânica do que fixam em suas células como tecidos vegetais (madeira, casca, etc.). A razão é o consumo de carboidratos e outros compostos energéticos produzidos nas próprias reações metabólicas das plantas. Quando a planta quer converter substâncias ou precisa de energia, ela queima compostos que produziu em um processo fisiológico chamado de respiração, que nada mais é que uma queima fisiológica realizada pelos seres vivos. A planta consome oxigênio, queima o composto que deseja e provoca a formação de gás carbônico e água, liberando energia para seu uso. Ela assim obtém a energia que precisa e segue em frente em seu metabolismo. Somente 30 a 40% do carbono que a planta captura pela fotossíntese são realmente fixados como tecidos vegetais.

Logo, o que precisamos são vegetais como os eucaliptos, que capturam muito gás carbônico, respiram e metabolizam bastante, mas fixam enormes quantidades de carbono orgânico em tecidos, que ficam mais permanentemente nas árvores das florestas.

Apenas para finalidades de valores numéricos para exemplificação, vamos admitir que tenhamos uma floresta de eucalipto e que ela produza 25 toneladas absolutamente secas de tronco por hectare.ano. Aos 7 anos, essa floresta estaria produzindo 175 toneladas de biomassa de tronco por hectare. Vamos admitir também que o tronco (madeira mais casca) corresponda nessa floresta específica a 75% do peso da biomassa total da árvore (tronco, galhos, folhas, raízes, copa, etc.).

Dessa forma, pode-se calcular a quantidade total de biomassa formada e que estará fixada nas árvores no momento da colheita. Ela seria de 233,3 toneladas secas por hectare aos 7 anos de idade da floresta (175/0,75).

Com base nas relações teóricas mostradas, teremos:

Fixação anual de gás carbônico =
[(233,3 t/ha) x (1,8 t CO_2/t)] : 7 anos = **60 t CO_2/ha.ano**

Liberação anual de oxigênio =
[(233,3 t/ha) x (1,3 t CO_2/t)] : 7 anos = **43,3 t O_2/ha.ano**

Além disso, existe uma fixação de carbono orgânico no solo, que resulta da decomposição da serapilheira e que corresponde a 0,5 a 0,7 toneladas de carbono elementar por hectare.ano, o que daria mais 1,8 a 2,5 toneladas de gás carbônico sequestrado para o solo por hectare.ano.

Muitos dados da literatura são apresentados referindo-se a carbono fixado, enquanto outros são referidos a gás carbônico, o que causa confusões de números em muitos leitores.

A relação entre ambos pode ser obtida da fórmula molecular do gás carbônico:

Um mole CO_2 ----- Um átomo de C
44 g ---------- 12 g
X ---------- 1

Uma grama de C equivale a 3,67 gramas de CO_2

O que dá em nosso exemplo acima:

Fixação anual de carbono =
60 t CO_2/ha.ano = 16,3 t C/ha.ano

Os dados da literatura indicam que uma floresta plantada de eucalipto consegue sequestrar entre 10 a 16 toneladas de carbono atmosférico por hectare.ano, o que equivale então a 35 a 60 toneladas de gás carbônico/hectare.ano. Em sete anos, na época de sua colheita, essa floresta teria sequestrado entre 70 a 112 toneladas de carbono atmosférico ou 255 a 410 toneladas de gás carbônico.

Apesar de que a biomassa, ao ser queimada, libera parte desse estoque de carbono de novo para a atmosfera, trata-se de um carbono renovável e não fóssil acumulativo. Existem, porém, muitos outros usos da biomassa florestal que são mais permanentes, estocando o carbono fixado por mais longos tempos. São exemplos disso: móveis de madeira, livros de longa duração (enciclopédias, dicionários, livros contábeis, etc.), casas e estruturas de madeira, etc.

Do exposto, pode-se concluir que as florestas plantadas e muitos dos produtos derivados dela se constituem em enormes estoques de carbono atmosférico sequestrado e fixado (criando uma poupança de carbono). Apesar dessa reconhecida e admirada capacidade de sequestrar e fixar carbono da atmosfera, a inclusão das florestas plantadas para fins energéticos ainda não é reconhecida como uma prática ambiental merecedora de ser incluída nos programas de incentivo do MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - para a redução dos GEE – Gases de Efeito Estufa, ou GHG – "Green House Gases".

Existem expectativas muito positivas para que isso possa acontecer em futuro próximo, pois a ISO – International Organization for Standardization – está lançando uma nova norma ambiental indicando critérios de sustentabilidade para a bioenergia. Essa norma IS0 13065:2015 tem como finalidade avaliar a sustentabilidade da produção e processos relacionados à geração de energia de origem orgânica (especialmente de vegetais), envolvendo não apenas os processos e as tecnologias em si, mas também a cadeia de suprimento e as atividades decorrentes da utilização dessa bioenergia.

A adição desse novo tipo de procedimento normativo de conformidade vai demandar auditorias e será certamente inserido nas empresas já certificadas pelas normas da série IS0 14.000 e pelos princípios e critérios de certificação florestal (PEFC – Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes e FSC – Forest Stewardship Council). Isso tudo deverá dar o carimbo definitivo na comprovação da sustentabilidade de processo florestal, também em relação aos mecanismos de desenvolvimento limpo.

Essa norma da IS0 tem como objetivos maiores o disciplinamento de todas as formas de bioenergia, independentemente da matéria prima utilizada, que pode ser bagaço de cana, casca energética de árvores, lenha de madeira, biogás derivado de esterco suíno, etc. A expectativa com a implementação desse procedimento normativo é impedir que a produção de bioenergia venha a ocorrer de forma irracional e extrativista, visto que existem enormes interesses e incentivos ao uso da bioenergia na chamada economia de baixo carbono.

Em todos os casos, a bioenergia tem sido vista como uma medida para redução das quantidades e do ritmo de crescimento do uso de combustíveis fósseis. Para isso, existem incentivos garantidos através das recomendações do MDL, que garantem a obtenção de recursos financeiros através da comercialização de certificados ou créditos de carbono. Esses créditos são denominados de RCF – Redução Certificada de Emissões e são comercializados como títulos em bolsas de valores, ou diretamente entre empresas interessadas em vender ou comprar os mesmos. Para que esses certificados sejam emitidos, a empresa interessada em obter recursos deve elaborar um projeto de redução de geração de GEE e garantir que o mesmo seja aprovado pelo MDL. Somente são aprovados projetos que produzam redução dos GEE e tragam benefícios significativos no longo prazo, sendo que esses benefícios devem ser reais e mensuráveis.

No caso de termelétricas, é comum se conseguir registro e aprovação de projetos que façam a substituição de fonte fóssil de combustível, trocando, por exemplo, a queima de óleo combustível fóssil por biomassa florestal energética. Sendo o projeto aprovado, a empresa pode comercializar seus créditos de carbono no Mercado Brasileiro de Redução de Emissões. Os interessados na compra são empresas que emitem GEE e que precisam compensar essa emissão, apoiando financeiramente projetos de redução.

O simples plantio de uma floresta para uso energético, sem uma comprovação de que ela fornecerá uma biomassa combustível, que vá reduzir a emissão de GEE pela troca de um combustível fóssil, ainda não tem viabilidades de aprovação, apesar de nosso conhecimento de que a floresta plantada estará sequestrando e fixando carbono atmosférico. Em geral, podem ser feitas parcerias entre geradores de energia termelétrica fóssil com plantadores florestais, para elaboração de projetos de substituição, com grandes chances de aprovação.

Outro problema em relação às florestas plantadas para fins energéticos é que uma parte da sociedade ainda acredita que a utilização de lenha ou outro tipo de biomassa florestal "não é um ganho ambiental de longo prazo". Muitos formadores de opinião têm receio do crescimento desmesurado das plantações florestais para finalidades energéticas, reduzindo com isso a disponibilidade de áreas agrícolas para produção de alimentos. O temor de muitos, coisa também aceitável, é de que essa explosão de produção de bioenergia possa ser feita com base em plantações de biomassa em condições inadequadas, com fortes impactos no solo, biodiversidade e recursos hídricos.

Frente a isso, o mais lógico seria que o setor de base florestal mantivesse orientação de constante aperfeiçoamento de suas práticas, processos e tecnologias, seus monitoramentos, suas certificações e as auditorias de terceira parte. Trabalhando como um todo e focando em plantações energéticas de reconhecido nível de sustentabilidade, o setor poderia obter o merecido sucesso no recebimento do apoio e da aceitação pela maior parte da sociedade. Mas para isso acontecer, o setor tem que melhorar ainda muito a comunicação, o diálogo e a transparência em relação às partes interessadas da sociedade.

De qualquer forma, para se garantir o sucesso da bioenergia florestal é necessário se trabalhar fortemente os seguintes procedimentos e conceitos:

- Intensificação da implementação e do uso de fontes energéticas renováveis;

- Manutenção de foco em processos substitutivos de energia de origem fóssil por energia renovável das florestas energéticas plantadas;

- Promoção de medidas de ecoeficiência, melhorando a eficiência de utilização dos recursos naturais, as tecnologias de processo, as práticas de gestão e privilegiando o uso consciente dos recursos energéticos;

- Ênfase na redução da dependência em combustíveis fósseis nas próprias empresas do setor de base florestal (através de sua pegada de carbono);

- Promoção da cogeração como uma forma de melhor eficiência para geração de calor e eletricidade;

- Estímulo à engenharia e implantação de projetos industriais com baixa intensidade no uso de carbono fóssil;

- Estímulo a ações de pesquisa e desenvolvimento (P&D) focadas em tecnologias mais limpas, processos mais ecoeficientes e baseados em uso de bioenergia renovável;

- Promoção da adequada interligação entre as práticas e operações de mitigação e de minimização dos impactos ambientais;

- Maximização dos aspectos sociais dos empreendimentos;

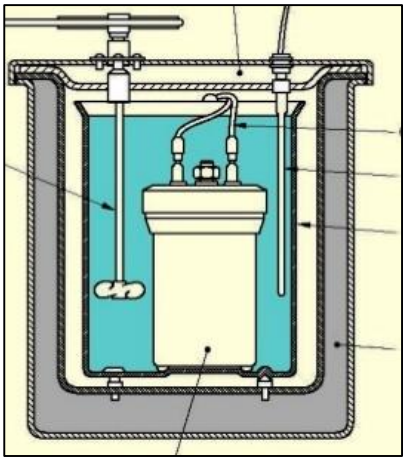
- Desenvolvimento de estudos científicos por parte de eminentes pesquisadores e institutos de pesquisa para identificação das vantagens socioambientais dos projetos de bioenergia e a efetiva melhoria da sustentabilidade no longo prazo;

- Ênfase na comunicação, diálogo, transparência e compromissos com as partes interessadas da sociedade.

Atuando com base nessas premissas mínimas, os setores brasileiros que produzem e consomem produtos energéticos de origem florestal estarão atendendo às exigências dessa nova era da economia global, que promove o uso da bioenergia, mas com responsabilidade e compromissos. Que venha a bioeconomia, estaremos prontos para atender as suas exigências e princípios.

==========

QUALIDADE DA BIOMASSA FLORESTAL DO EUCALIPTO PARA FINS ENERGÉTICOS



Calorimetria – ou a ciência de medir o poder calorífico de combustíveis

Existe um conjunto de parâmetros técnicos qualitativos e quantitativos que permitem aperfeiçoar a biomassa florestal do eucalipto para usos energéticos. Procurei nesse texto dar ênfase aos mais importantes e conhecidos, embora muitos deles estejam intimamente correlacionados entre si.

Afinal, o que é mais importante para que a biomassa florestal do eucalipto seja vitoriosa? Entenda-se como biomassa florestal um material rico em percentuais elevados de madeira e casca em mistura, sendo produzido pelas árvores do eucalipto através de processos fotossintéticos e metabólicos. Embora possam existir outros constituintes das árvores presentes (galhos, folhas, touças/cepas), a madeira e a casca são os principais materiais da biomassa florestal primária, em quaisquer de seus tipos.

Podem ser elencados os seguintes parâmetros técnicos para que uma biomassa florestal seja vencedora:

1. Produtividade florestal em metros cúbicos de madeira e de casca por hectare.ano;

2. Produtividade florestal em toneladas de matéria seca por hectare por ano, tanto de madeira como de casca;

3. Densidade básica da madeira e da casca;

4. Poder calorífico da madeira e da casca;

5. Relação percentual entre madeira e casca na biomassa (base peso seco);

6. Teor de umidade da biomassa quando disponível para uso;

7. Teor de lignina na madeira;

8. Teor de carbono fixo na madeira;

9. Teor de cinzas na madeira e casca;

10. Teor de contaminantes na biomassa (pedras, terra, areia, etc.);

11. Teor de extrativos resínicos (ceras, ácidos graxos, óleos, etc.) na madeira e casca;

12. Retratibilidade ou contração volumétrica da madeira;

13. Densidade energética da biomassa.

Iremos juntos navegar um pouco em cada uma dessas características de forma nem tanto estruturada e sequencial, já que muitas características serão discutidas simultaneamente pela sua interdependência.

Com isso, pretendo oferecer maneiras de se entender melhor cada dessas importantes características e suas relações.

○ Produtividade volumétrica e gravimétrica das plantações florestais

A produtividade florestal pode ser expressa tanto volumétrica como gravimetricamente (base peso seco). Em geral, os produtores florestais preferem trabalhar com volumes, pois é assim que são usualmente definidos indicadores de produtividade, colheita e manuseio/transporte.

A produtividade de uma floresta de eucalipto costuma ser referida como IMA – (Incremento Médio Anual), ou melhor, em metros cúbicos de tronco com ou sem casca, que se produz por hectare em um ano (valor médio ao longo da idade da árvore, quando ela for colhida).

Os valores mais usuais de produtividade florestal em plantações de eucalipto no Brasil variam entre 30 a 60 metros cúbicos sólidos de tronco com casca por hectare.ano, isso para florestas que são colhidas por corte raso entre 6 a 7 anos.

Quanto mais jovem for a árvore, menor será seu volume individual, menor será o percentual de biomassa de tronco em relação à biomassa total da árvore e maior será o percentual de casca na biomassa de tronco.

Uma floresta de eucalipto com 3 anos de idade tem apenas 60 a 65% do peso seco de sua biomassa total colocado no tronco e esse tronco possui aproximadamente 15% de seu peso seco como sendo casca e 85% de madeira.

Já uma floresta plantada de eucalipto com 7 anos de idade terá algo como 70 a 75% da biomassa total colocados como troncos de árvores e esses troncos terão em seu próprio peso seco cerca de 8% de casca e 92% de madeira.

Esses dados são apenas referenciais, pois variam caso a caso, mas servem para se ter uma ideia de como se distribui a biomassa que interessa aos produtores florestais, que é a biomassa do tronco, e em especial a da madeira.

A produtividade de uma plantação florestal de eucalipto vai depender de um conjunto de fatores, tais como:

- Espécie e clone sendo plantados;
- Idade de corte ou colheita, ou rotação;

- Espaçamento entre plantas e densidade populacional em plantas/hectare;
- Qualidade do genótipo em função do nível de melhoramento florestal com foco no uso energético da floresta;
- Interação genótipo/ambiente;
- Manejo florestal e práticas silviculturais (fertilização, irrigação, preparo do solo, combate a ervas daninhas, etc.)
- Ataque de pragas e doenças, incêndios, etc.;
- Rigores climáticos (ventos, seca, inundação, geadas, etc.);
- Etc.

Tanto a produtividade volumétrica em m³/ha.ano como as próprias densidades básicas da madeira e da casca acabarão sendo impactadas pelo mesmo conjunto de fatores acima citados.

As densidades básicas da madeira e da casca são importantes fatores qualitativos dessas biomassas, pois se combinarão às produtividades volumétricas das mesmas para comporem a produtividade florestal gravimétrica, ou peso seco de biomassa por hectare.ano.

Essas densidades básicas são muito dependentes do nível de melhoramento florestal, da idade e do ritmo de crescimento da floresta. Por exemplo, aos 3 anos de idade, uma plantação do híbrido *Eucalyptus urograndis* pode apresentar uma densidade básica média de madeira de tronco de 0,45 g/cm³; aos 7 anos isso pode atingir 0,5 g/cm³ e aos 10 anos chegar a 0,52 g/cm³. Para a casca esse efeito idade é menos impactante em função da reposição anual de casca, que acontece nesses eucaliptos, mas ela pode aumentar de 0,28 a 0,35 g/cm³, por exemplo, nesse período de tempo.

A partir dos dados de incremento médio anual volumétrico, dos teores de casca e madeira e das densidades básicas de madeira e casca pode-se calcular o IMA gravimétrico da floresta, expressando assim a produtividade florestal em toneladas de matéria seca por hectare.ano.

Seja o seguinte exemplo numérico:

- IMA Volumétrico (Madeira+Casca) = 40 m³/ha.ano
- Idade da colheita = 7 anos

- Produção de madeira+casca na colheita aos 7 anos = 280 m³/ha
- Teor volumétrico de casca no tronco na colheita = 10%
- Teor volumétrico de madeira no tronco na colheita = 90%
- Produção estimada de volume de casca = 28 m³/ha
- Produção estimada de volume de madeira = 252 m³/ha
- Densidade básica da casca= 0,30 t secas/m³ verde
- Densidade básica da madeira = 0,52 t secas/m³ verde
- Peso seco de casca na colheita = 8,4 toneladas/ha
- Peso seco de madeira na colheita = 131 toneladas/ha
- Produção total de madeira e casca na colheita = 139,4 t secas/ha
- IMA gravimétrico em biomassa florestal de tronco = (139,4) : 7 = 19,9 t secas/ha.ano

Esses valores de produção gravimétrica se relacionam fortemente então com os volumes, densidades e relações entre casca/madeira nos troncos comerciais das florestas. Existem clones ou espécies que possuem menores incrementos volumétricos, mas compensados pela maior densidade básica de suas biomassas. É o caso de clones de *Corymbia citriodora x C. torelliana* e de clones intraespecíficos de *Eucalyptus cloeziana*. Há casos de valores de densidade básica bastante elevados (0,7 t secas/m³ sólido verde) relatados para *Eucalyptus paniculata*, o conhecido "ferrinho" dos eucaliptos

Deve ficar desde já claro, que os valores estimados pelo inventário florestal são para árvores verdes em pé. Na colheita florestal existem perdas de biomassa devido ao seccionamento das toras, toretes perdidos por diâmetro mínimo, altura de corte e remanescente de madeira nas cepas, etc. Somados esses valores, as perdas de colheita costumam variar entre 2 a 4% do volume verde total inicialmente projetado pelo inventário florestal.

○ Retratibilidade ou contração volumétrica

Tanto casca como madeira das toras colhidas perdem volume em função da secagem natural das toras. Quanto maior o grau de secagem que se proceder, maior será o nível de contração do volume da biomassa.

Em geral, para a secagem da biomassa se costuma deixar as toras no campo para perder peso entre 45 a 90 dias. Isso leva a umidade a valores entre 30 a 45% em base seu peso úmido total. Nessas condições, a contração volumétrica será de valores entre 4 a 6%, base volume verde inicial. Caso se deseje deixar mais tempo a biomassa sendo secada, esses valores podem aumentar para 8% ou ainda mais. Entretanto, a partir de certo momento, a madeira começa a rachar e a ter um falso aumento em seu volume, dificultando as medições de contração.

A contração volumétrica favorece a concentração de energia por volume de lenha e de cavacos de madeira. Isso acontecerá se a madeira perder menos peso do que volume nesse período de secagem. A perda de peso acontece por volatilização e por ataques microbiológicos (apodrecimento).

○ Teor de umidade da biomassa florestal

A umidade ao abate das árvores é bastante alta e muito próxima ao máximo teor de umidade que possa caber na porosidade da madeira e da casca. Essa umidade é tão alta que existe muita água livre nas toras, a ponto de escorrer água das toras recém-seccionadas. Na verdade, não se trata de água pura, mas de seiva mineral bruta escorrendo da madeira (xilema) e seiva elaborada fotossinteticamente, escorrendo da casca (floema).

Para um mesmo volume de madeira, quanto maior for o seu peso seco, menor será a disponibilidade de espaços para serem ocupados por água. Logo, as madeiras mais densas costumam serem menos úmidas do que as madeiras mais leves. O mesmo se aplica às cascas.

No abate das árvores, tanto a madeira como a casca estão bastante *verdes* ou muito úmidas. Já sabemos que existe uma íntima relação entre densidade básica e teor de umidade na máxima saturação. Para espécies de baixa densidade básica (como é o caso de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*), a umidade é bastante alta, tanto na casca como na madeira. Povoamentos de *Eucalyptus grandis* com 8 anos de idade mostraram densidade básica na casca de 0,28 t secas/m³ e umidade da casca no abate das árvores de 71,8%. Já a madeira dessas mesmas árvores mostrava densidade básica de 0,486 t secas/m³ e umidade ao abate de 53,63%.

Com a secagem natural no campo, as toras perdem água, mais rapidamente na casca, que é a parte externa mais exposta ao tempo. Rapidamente a umidade cai a valores de 35 a 45% e depois a queda é mais lenta, mas tudo depende de uma série de fatores como dimensões das toras e das pilhas, condições climáticas, orientação solar, ventos, etc.

o Poder calorífico da biomassa florestal e suas relações com a umidade

Existem dois tipos de medições para Poder Calorífico, o PCS – Poder Calorífico Superior e o PCI – Poder Calorífico Inferior. Ambos são medidos em bombas calorimétricas, e às vezes, o PCI é obtido por cálculos a partir da composição elementar da biomassa.

O PCS inclui como valor de energia total também o calor contido na água formada pela presença de hidrogênio na constituição do combustível. Essa água é condensada no calorímetro, libera calor que é medido e aparece somado ao restante da energia liberada na queima do combustível.

O PCI não inclui esse valor de energia de condensação da água de formação, visto que em geral, esse calor não é aproveitado pelas instalações que queimam biomassa, sendo perdido com os gases de exaustão da combustão pelas chaminés. Logo, o PCI é na realidade a energia primária disponível no combustível, no caso na biomassa seca, e que será disponibilizado para uso.

Tanto o PCS como o PCI costumam ser expressos em energia por peso seco e as unidades mais usuais são: kcal/kg; Mcal/t; Gcal/t; MJ/kg; GJ/t.

Para fins de facilitação de cálculos é importante saber que uma unidade de GJ equivale a 238,8 Mcal

Ou então..

... que uma unidade de Mcal equivale a 4,19 MJ

O poder calorífico superior das biomassas de eucalipto varia muito em função de sua constituição química, principalmente em relação aos teores de lignina, cinzas, extrativos e holoceluloses.

Os valores de PCS para a madeira de eucalipto costumam variar entre 4.300 a 5.000 kcal/kg secos (18 a 20,9 GJ/t secas). Já para a casca variam entre 3.400 a 4.000 kcal/kg secos (14,2 a 16,8 GJ/t secas).

Uma maneira simples de se determinar o PCI de uma biomassa a partir de seu PCS é através do teor de hidrogênio presente em sua composição elementar, pois será ele que será convertido em água de formação. Em geral, as biomassas de eucalipto possuem teores de hidrogênio próximos a 6% em sua composição molecular.

A fórmula abaixo, citada por Moreira, Lima & Goulart (2012) permite se obter um valor aproximado de PCI desde que se disponham de PCS e teor de hidrogênio. Entretanto, pode-se usar 6% como teor de hidrogênio (H) para antever valores de forma aproximada, já que o teor de hidrogênio não varia muito com as diversas biomassas florestais e está quase sempre próximo a 6%.

$$\mathbf{PCI = PCS - 600 \,.\, (9H/100)}$$

$$PCI = PCS - 600.\ (9 \times 6/100)$$

$$\mathbf{PCI = PCS - 324}$$

...com os resultados apresentados em kcal/kg seco ou Mcal/tonelada seca.

O valor 600 kcal/kg empregado na fórmula acima corresponderia à quantidade de calor roubado da energia primária da biomassa (kcal) e que é consumido por cada unidade de peso de água equivalente ao hidrogênio (kg), para ser aquecida e evaporada.

Dessa maneira, os poderes caloríficos inferiores da madeira do eucalipto podem variar, em função desses dados citados, entre 4.200 a 4.675 kcal/kg secos (17,6 a 19,6 GJ/t secas).

O Poder Calorífico Útil (PCUtil) ou Efetivo de uma biomassa florestal não será o seu PCI. Isso porque existe ainda a presença da água da umidade da biomassa. Essa água vai consumir energia para ser aquecida, evaporada e ainda ter o valor da temperatura do vapor elevada até a temperatura de exaustão dos gases.

Dessa forma, em função dos seus valores de PCI, cada biomassa e a cada momento poderá ter um PCUtil diferente, conforme variar o seu teor de umidade.

O PCUtil tal qual será disponibilizado pela biomassa úmida pode ser obtido através de cálculos simples, conforme algumas fórmulas práticas desenvolvidas por estudiosos do setor de bioenergia:

Fórmula do Dr. José Otávio Brito (1993):

$$\mathbf{PCUtil = PCI \times [(100 - U)/100] - 6 \cdot U}$$

Onde:

U = Teor percentual de umidade base peso úmido

PCI = Poder Calorífico Inferior (kcal/kg seco)

PCUtil = Poder Calorífico Útil na umidade tal qual (kcal/kg tal qual)

Vamos agora realizar alguns exemplos práticos com utilização dessa fórmula.

Para uma biomassa madeira de eucalipto com PCI = 4.400 kcal/kg, variando o teor de umidade em alguns níveis entre 50% e 20%:

Para 50% umidade:

PCUtil = 4.400 x [(100 – 50)/100] – 6 . 50

PCUtil = 1.900 kcal/kg tal qual

Para 30% de umidade:

PCUtil = 4.400 x [(100 – 30)/100] – 6 . 30

PCUtil = 2.900 kcal/kg tal qual

Para 20% de umidade:

PCUtil = 4.400 x [(100 – 20)/100] – 6 . 20

PCUtil = 3.400 kcal/kg tal qual

O consumo de energia pela água presente na biomassa não é pequeno. Vamos obter isso a partir dos resultados anteriores, pois sabemos que:

PCI = 4.400 kcal/kg seco a 0% de umidade

PCUtil a 50% umidade = 1.900 kcal/kg tal qual

Com 50% de umidade, um quilograma tal qual possui 0,5 kg de peso seco e 0,5 kg de água. Se trouxermos esse valor para um quilograma seco equivalente nesse teor de umidade, teríamos

0,5 kg seco ====== 1.900 kcal/kg

1 kg seco ---------- X

X = 3.800 kcal/kg seco equivalente

Logo, a diferença entre 4.400 – 3.800 = 600 kcal/kg seco corresponde à potencial destruição de energia pela água presente como umidade na madeira. Isso é exatamente o mostrado pelo fator de correção da fórmula anteriormente citada por Moreira, Lima & Goulart (2012), onde se corrigia o poder calorífico superior da biomassa florestal pelo teor de hidrogênio e correspondente quantidade de água formada na sua queima.

Quanto maior o teor de umidade, maior será essa perda de energia. É por essa razão a prática de se deixar a biomassa secando no campo, tanto para redução de seu peso a transportar, como para ter maior valor de Poder Calorífico Útil.

Existem maneiras mais elaboradas para se calcular essa destruição ou perda de energia devido à umidade, baseadas em balanços térmicos e mássicos. Um exemplo desse tipo de cálculos pode ser obtido no artigo de Calegari et all (2005) e publicado na revista Biomassa e Energia da RENABIO.

Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no Brasil. L. Calegari; C.E.B. Foelkel; C.R. Haselein; J.L.S. Andrade; P. Silveira; E.J. Santini. Biomassa e Energia 2(1): 37 – 46. (2005)

http://www.renabio.org.br/04-B&E-v2-n1-2005-p37-46.pdf

Outra referência básica da literatura que vale a pena ser lida em função da utilização das diversas fórmulas práticas (Moreira, Lima & Goulart, 2012) está logo a seguir referenciada:

Impacto do teor de umidade e da espécie florestal no custo da energia útil obtida a partir da queima da lenha. J.M.M.A.P. Moreira; E.A. Lima; I.C.G.R. Goulart. Embrapa Florestas. Comunicado Técnico nº 293. 05 pp. (2012)

http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65182/1/CT293.pdf

De qualquer maneira, devemos sempre estar atentos ao fato que a secagem natural da madeira na floresta impacta também na perda de algum peso seco de biomassa (apodrecimento, volatilização e desprendimento de alguma casca) e na contração volumétrica da madeira e da casca. Também agrega sujeiras colhidas do solo, como terra e pedras e poeiras, trazidas pelos ventos.

O teor de umidade ideal de uma biomassa dependerá muito dos equipamentos utilizados na combustão. Poder-se-ia pensar que quanto mais seca a biomassa, melhor seria, mas há queimadores que são sensíveis ao tipo de biomassa (granulometria) e ao teor de umidade. Quando existe muito pó seco na biomassa, a falta de alguma umidade pode aumentar o risco de explosões e queima de biomassa nos próprios sistemas de alimentação da biomassa às caldeiras.

Apesar de se desejar o mínimo de umidade, sempre existirá um nível de umidade que fornecerá uma maior sustentação nas operações e nos desempenhos. Procura-se sempre trabalhar com teores de umidade abaixo de 35%, mais preferencialmente entre 20 a 30%. Secar mais que isso demandaria secadores de biomassa em sistemas de pré-secagem, que podem às vezes serem indicados conforme o nível de gargalos operacionais ou de heterogeneidade de biomassas mistas.

Outra vantagem das biomassas mais secas é que maior quantidade de calor será disponibilizada a partir de menores pesos totais brutos de biomassa a manusear, transportar e armazenar.

Por outro lado, quanto mais úmida for a biomassa, pior será o seu desempenho energético e mais problemas teremos para manter as caldeiras operando em níveis ideais de rendimentos. Muita água não apenas rouba calor, mas aumenta em muito o fluxo de gases no interior das fornalhas e caldeiras, pelo excesso de vapor formado.

Os resíduos florestais são em geral bastante heterogêneos em termos de granulometria, proporções de casca e madeira, contaminações com terra e pedras, bem como podem apresentar grandes variabilidades em relação ao teor de umidade. Isso resulta em necessidades adicionais para melhorias na uniformidade dos resíduos e em especial na manutenção de uma umidade média mais uniforme na alimentação dos fornos e caldeiras. Por essa razão, as empresas que se valem de resíduos florestais e de outros tipos de resíduos comprados de empresas madeireiras, acabam tendo que instalar sistemas de limpeza da biomassa e, às vezes, pré-secadores para uniformizar o teor de umidade da biomassa a ser queimada.

Os resíduos são extremamente variados em sua composição química, teor de umidade, granulometria, poder calorífico útil, etc. Isso porque podem conter na mistura alguns resíduos muito secos, por exemplo, pó de lixa de painéis de madeira; como muito úmidos, a exemplo da casca úmida e suja retirada após lavagem das toras. Por isso,

são encontrados valores de PCUtil para resíduos lenhosos que variam entre 1.000 a 3.800 kcal/kg tal qual (4,2 a 16 GJ/tonelada tal qual).

Como os resíduos são comprados nos mercados de madeira com base em peso tal qual, esse sistema estimula a que os vendedores queiram entregar resíduos os mais úmidos possíveis, em função do aumento do peso a ser faturado. Gera-se com isso, inclusive a prática desaconselhável e pouco ética de se molhar as biomassas após a carga dos caminhões, ou se deixar a carroceria descoberta em dias de chuva.

- **Densidade energética da biomassa florestal de eucalipto**

Define-se densidade energética como a quantidade de energia efetiva ou útil disponível por unidade de volume desse combustível. Quanto menor peso seco, menor poder calorífico e maior peso de água contiver o combustível por unidade de volume, pior será sua densidade energética.

Seguem alguns exemplos práticos com base em um mesmo tipo de biomassa florestal (a mesma madeira de eucalipto, com 30% de teor de umidade e 2.900 kcal/kg úmido tal qual):

Lenha de madeira de eucalipto (toras):

500 kg secos por metro cúbico sólido

714,3 kg úmidos/m³ sólido

Densidade energética = 2,07 Gcal/m³ sólido

Lenha de madeira de eucalipto (toras empilhadas):

325 kg secos por metro cúbico empilhado (estéreo)

464,3 kg úmidos/m³ estéreo

Densidade energética = 1,35 Gcal/m³ estéreo

Cavacos de madeira de eucalipto:

175 kg secos por metro cúbico de cavacos

250 kg úmidos/m³ cavacos

Densidade energética = 0,725 Gcal/m³ cavacos

Serragem de madeira de eucalipto:

120 kg secos por metro cúbico de serragem

171,4 kg úmidos/m³ de serragem

Densidade energética = 0,497 Gcal/m³ serragem

Portanto, o mesmo metro cúbico sólido de madeira vai gradualmente perdendo densidade energética conforme ele vai sendo empilhado e fragmentado, aumentando o volume aparente para o mesmo peso seco.

Portanto, a densidade energética é função da densidade da madeira, da densidade a granel do material, da granulometria dos fragmentos, do fator de empilhamento, do teor de umidade e do poder calorífico de cada tipo de biomassa.

Vejam outro exemplo interessante:

O poder calorífico das madeiras do *Eucalyptus urograndis* e do *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* são próximos em base peso seco. Ambas possuem teores de carbono, hidrogênio e de lignina algo parecidos, o que lhes confere essa similaridade. Entretanto, a diferença entre ambas se acentua quando falamos em volume, já que o metro cúbico da madeira seca do *C.citriodora* é muito mais pesado do que a de *E.urograndis*. Se tivermos algo como 4.400 kcal/kg seco de poder calorífico inferior para ambos os eucaliptos, ao se falar em volume, temos muito mais peso seco de madeira em um metro cúbico sólido de madeira de *C.citriodora* (cerca de 650 kg secos) do que em *E.urograndis* (cerca de 520 kg secos). Logo, em um metro cúbico sólido de *C.citriodora* teremos

algo como 2,86 Gcal/m³ de energia primária como densidade energética, enquanto para o *E.urograndis* cerca de 2,29 Gcal/m³. Isso tudo em base de peso seco absoluto.

Se introduzirmos a variável água da madeira as coisas podem mudar e bastante. Entretanto, as madeiras mais densas como as do *C.citriodora* têm menores umidades, já que por serem mais densas, têm menos espaços para serem ocupados por umidade (outra vantagem do *C.citriodora*).

Por outro lado, existem também as desvantagens, um hectare de *E.urograndis* produz muito mais metros cúbicos do que de *C.citriodora*. Enquanto que produtividades de 45 m³/ha.ano são facilmente alcançadas com *E.urograndis*, para *C.citriodora* elas dificilmente ultrapassam 30.

Em resumo, há muitas coisas a afetar esses rendimentos energéticos e as produtividades, portanto, sempre se recomenda uma avaliação global e baseada em dados confiáveis.

○ Composição química da biomassa florestal

Os constituintes da biomassa que mais afetam seu poder calorífico são por ordem de importância: teor de lignina, teor de carbono e teor de extrativos graxos.

O teor de lignina total da madeira costuma variar entre 22 a 33%, sendo ligeiramente mais baixo na casca. Já o teor de extrativos pode variar entre 4,5 a 7,5%, porém nem todos os extrativos conferem aumento do poder calorífico, pois apenas os ácidos graxos (ceras, óleos e resinas) são mais caloríficos. Já os extrativos solúveis em água quente não agregam mais energia na madeira, como fazem os extrativos resínicos e oleosos. Como as coníferas apresentam alto teor de extrativos resínicos (resinas), ocupando espaços vazios em suas madeiras, bem como maiores teores de lignina, os poderes caloríficos das mesmas são geralmente maiores do que os de madeiras de folhosas.

As madeiras de *Eucalyptus* possuem poderes caloríficos inferiores próximos a 4.400 Mcal/tonelada seca, enquanto as madeiras de *Pinus* possuem valores acima de 4.800 Mcal/tonelada seca. Também as cascas das árvores do *Pinus* são mais energéticas do que a dos eucaliptos, tanto por razões de presença de extrativos, como de teor lignina e de cinzas.

O importante no caso dos extrativos é que são constituintes que ocupam espaços externos às paredes celulares (lúmens e vacúolos), logo eles somam peso seco às biomassas das paredes celulares.

A lignina é o principal constituinte responsável pelo aumento do poder calorífico, pois ela possui entre 60 a 64% de carbono elementar em sua composição molecular, enquanto a celulose e as hemiceluloses possuem bem menos (42 a 46%).

Fórmula molecular aproximada da lignina: $C_{11}H_{14}O_4$

Poder calorífico inferior da lignina, base seca: 5.700 a 6.000 kcal/kg (24 a 26 GJ/t seca)

Teor de carbono baseado na fórmula molecular: 62,86%

Teor de oxigênio baseado na fórmula molecular: 30,47%

Teor de hidrogênio baseado na fórmula molecular: 6,67%

Fórmula molecular aproximada das hexosanas (celulose e algumas hemiceluloses): $C_6H_{10}O_5$

Poder calorífico inferior das hexosanas, base seca: 3.900 a 4.100 kcal/kg (16,5 a 17,2 GJ/t seca)

Teor de carbono baseado na fórmula molecular: 44,4%

Teor de oxigênio baseado na fórmula molecular: 49,4%

Teor de hidrogênio baseado na fórmula molecular: 6,2%

O poder calorífico inferior da madeira do eucalipto tem sido em geral referido na literatura como sendo em média de 18,5 GJ/t base seca (o que corresponde a 4.420 kcal/kg seco). Entretanto, esse valor pode variar em função do teor de lignina e de seu valoroso carbono de sua composição elementar, dentre outros fatores e constituintes.

A composição química elementar da madeira e da casca dos eucaliptos tem sido bastante estudada e existem dezenas de estudos disponíveis na literatura brasileira mostrando sua variação em função de

espécies, clones, idade, posição na árvore, componentes da biomassa (madeira, casca, galhos, folhas, raízes, etc.).

Como uma referência genérica, podemos colocar uma tabela referencial comparando as biomassas de madeira e casca de eucalipto, como a seguir apresentado:

Constituinte	Madeira	Casca
Carbono	45 a 51%	41 a 47%
Oxigênio	35 a 40%	31 a 35%
Hidrogênio	5,0 a 6,5%	4,7 a 5,5%
Nitrogênio	0,15 a 0,4%	0,3 a 0,5%
Enxofre	0,04 a 0,10%	0,03 a 0,06%
Cinzas	0,3 a 0,5%	2 a 8%

Outros fatores de natureza química a observar na constituição de uma biomassa florestal são os seguintes:

- Relação Siringila / Guaiacila na lignina:

Como a guaiacila possui mais carbono elementar que a siringila em sua molécula, idealmente devem ser buscadas madeiras para energia que possuam menor relação S/G na lignina, em oposição ao que se busca para o setor de celulose e papel.

- Maior relação possível entre os teores de lignina e os de holocelulose base peso seco

- Teor de carbono fixo da biomassa costuma variar entre 14 a 16,5%, o que corresponde a teor de materiais voláteis entre 83.5 a 86%. Quanto mais alto o teor de carbono fixo mais energética será a biomassa, embora os materiais voláteis também gerem energia em processos de combustão.

- Teor de cinzas da biomassa

O teor de cinzas em qualquer biomassa florestal é resultante de três fatores chaves: contaminações de terra, pedras, areia; relação em peso seco entre madeira e casca; teores de cinzas na casca e na madeira.

As contaminações com terra nas operações florestais são as principais razões para o fracasso de muitas tentativas de utilização de resíduos florestais para alimentar caldeiras de biomassa. Além disso, os resíduos florestais podem conter também pouca madeira e teores elevados de casca. A casca é muito mais rica em elementos minerais do que a madeira. Ela faz isso para defender a árvore da ação de predadores, tornando-se menos apetitosa para os roedores e para a herbivoria.

Os teores de cinzas em resíduos florestais podem variar entre 2 a 6% de seu peso seco.

A madeira do eucalipto por si só é pobre em teor de elementos minerais, sendo que valores mais frequentes se encontram entre 0,3 a 0,5% base peso seco. Já a casca da árvore, em função de seu elevado teor de cálcio e magnésio, pode apresentar teores de cinzas entre 2 a 8%. A casca também apresenta grande potencial para se sujar com terra. É a região das toras mais exposta ao solo, pois toma contato íntimo com o mesmo e sofre a deposição de poeira nas pilhas de madeira.

Apenas para fins de referência em termos de teores de cinzas em alguns tipos de biomassa:

Bagaço de cana: 3 a 5%

Casca de arroz: até 30%

Bambu: máximo de 3 a 5%, em função de algumas espécies terem alto teor intrínseco de sílica.

Biomassa energética na forma de cavacos

Os cavacos obtidos a partir de toras de eucalipto para fins energéticos costumam ser uma mistura de madeira e casca, em uma proporção em peso seco de aproximadamente 89 a 92% de madeira e o restante de casca. São relações muito próximas daquelas existentes nas próprias árvores, já que pouca casca acaba se perdendo nas operações de colheita, estocagem, manuseio e transporte das toras.

As especificações mais críticas para esse tipo de biomassa (cavacos) são:

- Teor de umidade;
- Teor de contaminantes externos (areia, terra, pedras);
- Densidade a granel base anidra do material lenhoso;
- Densidade a granel base tal qual (úmida);
- Dimensões e granulometria dos cavacos;
- Poder calorífico da mistura madeira e casca.

Um dos principais itens a especificar para qualquer tipo de biomassa na forma de cavacos é a classificação dos mesmos em termos de dimensões. Os cavacos muito finos são leves e ocupam muito espaço volumétrico. Quando queimados nas caldeiras tendem a subir e a sofrerem combustão na parte de cima das fornalhas, às vezes saindo com os gases de exaustão na forma de fuligens mal-queimadas. Já os cavacos sobre-dimensionados (acima de 45 mm de dimensões máximas) acabam

caindo no fundo da fornalha e podem sobrar com queima incompleta, na forma de cinza de fundo de fornalha.

Em geral, logo após a picagem, os cavacos precisam sofrer uma classificação tanto para eliminar a fração muito fina que é rica em terra e areia (abaixo de 2 mm), como para separar os cavacos sobre-dimensionados (nós, lascas, etc.) para envio para repicagem. Os pedaços de casca muito grandes, na forma de fitas também interferem na classificação e no desempenho energético, podendo inclusive obstruir os sistemas de transporte e alimentação de cavacos.

A classificação dos cavacos é vital, pois oportuniza a alimentação de uma biomassa combustível mais adequada para a geração de energia térmica e elétrica.

As caldeiras de biomassa possuem diferentes conceitos e variam muito em termos de idades tecnológicas. Por essa razão, os rendimentos térmicos de caldeiras e queimadores de biomassa podem variar entre 70 a 90% com base no calor ou vapor gerados e na quantidade de energia primária suprida.

Densificação da biomassa florestal (produção de briquetes ou péletes)

Levando em conta a escala de produção e a baixa densidade energética de alguns tipos de biomassa florestal, são necessários enormes volumes de material para estocar, manusear, transportar e alimentar os equipamentos queimadores. Isso tem levado a que muitos considerem a possibilidade de densificação da biomassa, ou seja, a produção de péletes ou briquetes de madeira densificada. Esses materiais possuem baixo teor de umidade (máximo 15%) e alta densidade em base de peso seco por volume sólido de cada peça (cerca de 1.000 kg/m³).

A densificação da biomassa consiste na compactação a elevadas pressões, o que provoca a elevação da temperatura do processo para mais de 100ºC. O aumento da temperatura colabora para a plastificação da lignina, o que conduz à adesão das partículas sem a utilização de produtos aglomerantes. Para que a aglomeração seja bem-sucedida, é necessária uma quantidade mínima de água nas partículas, algo entre 8% a 15% de umidade. Também é fundamental que o tamanho das partículas seja adequado à tecnologia sendo empregada.

Em geral, a umidade do material densificado de biomassa está por volta de 8 a 15%, sendo que a densidade base peso absolutamente seco do material sólido é de aproximadamente 850 a 1.000 kg/m³ sólido (ou 950 a 1.100 kg na umidade de 10% por m³). Isso ocorre em função da intensa densificação do material por fortíssima prensagem (150-180 MPa), em geral sem aditivação química alguma.

Já a densidade a granel dos toretes empilhados do briquete está em cerca de 650 a 700 kg absolutamente secos por metro cúbico de toretes "empilhados", em função da disposição espacial dos mesmos. Para o caso dos péletes, a densidade a granel dos péletes de biomassa fica em torno de 550 a 600 kg absolutamente secos por metro cúbico a granel.

Comparativamente à madeira ou à biomassa fragmentada e picada "in natura", que tem cerca de 130 a 200 kg secos/m³ de densidade a granel na forma de cavacos, pode-se concluir que a densificação definitivamente agrega densidade ao combustível e reduz seu espaço físico ocupado. Corresponde a uma densificação entre 2,5 a 5 vezes em relação à matéria-prima original fragmentada para compactação.

Como o poder calorífico da biomassa na forma seca é praticamente o mesmo para toras, cavacos ou briquetes (expressa como kcal/kg seco ou como GJ/t seca), os briquetes e péletes realmente elevam bastante a densidade energética em função dessa enorme densificação e de seu muito menor teor de umidade (entre 8 a 15%).

Uma alternativa tecnológica também promissora que tem surgido nos mercados consiste na produção de briquetes de biomassa torrificada ou torrefeita. Por torrefação entende-se uma pirólise ou carbonização simplificada, onde os briquetes são tratados em um forno com atmosfera não-oxidante a uma temperatura de 220 a 280ºC. Alguns compostos mais facilmente degradados pelo calor se degradam e se liberam (hemiceluloses, extrativos, ácido acético, carboidratos simples, etc.) e formam um ar quente pobre em poder de combustão. Esse ar quente pode retornar para complemento de aquecimento na torrefação, gerando energia para aquecer o forno e continuar o processo sucessivamente. Na verdade, estamos produzindo um protótipo de "quase carvão vegetal" na forma de briquetes de biomassa torrada. Os briquetes torrificados

possuem maior teor de carbono fixo, são resistentes, densos, têm baixíssima umidade (menos de 5%) e concentram ainda mais a energia. Seu poder calorífico pode atingir 20 até 24 GJ por tonelada tal qual, muito em função da elevação do teor de carbono da biomassa torrificada e do baixo teor de umidade nos biocombustíveis dessa biomassa. Os rendimentos para a conversão da biomassa original em material torrificado variam entre 60 a 80%. Quanto menor o rendimento, maior a densidade energética do produto resultante, porém a perda de peso pode ser grande e desestabilizar a estrutura do biocombustível compactado. Trata-se de mais uma oportunidade interessante para converter os resíduos florestais em excelentes e mais eficazes biocombustíveis sólidos.

A compactação de resíduos florestais e de biomassa torrificada em péletes ou briquetes pode ser uma das alternativas consideradas pelos que desejem melhorar a qualidade de seu biocombustível sólido.

Apesar dos custos da densificação ou da torrefação, os resultados podem ser positivamente significativos em função dos ganhos energéticos e da redução das necessidades em pesos e volumes de biomassa a manusear, estocar e alimentar nas caldeiras.

FLORESTAS ENERGÉTICAS, DENDROENERGÉTICAS OU FITOENERGÉTICAS

O eucalipto ingressou no Brasil pelas mãos e vontade do grande silvicultor e agrônomo Edmundo Navarro de Andrade com a finalidade principal de suprir com lenha as locomotivas da Companhia Paulista de Estradas de Ferro. Navarro, com sua sabedoria e determinação científica, encontrou muitos usos mais para os eucaliptos, mas não há como negar que sua função inicial era energética.

Já se passou mais de um século dos eucaliptos sendo plantados comercialmente no Brasil, sendo que espécies, híbridos e clones desse gênero conseguiram se converter na principal fonte de madeira de reflorestamento e uso industrial para o País.

Rapidamente, a lenha que Navarro de Andrade objetivava passou a ser utilizada para inúmeras outras finalidades, com a orquestração daquele grande estudioso as eucaliptocultura. Produtores rurais, fabricantes de tijolos, padeiros, cozinheiros e uma infinidade de outros usuários domésticos e industriais surgiram e formaram essa enorme rede de usuários dos benefícios dos eucaliptos.

Na década dos anos 40’s e 50’s surgiram alguns empreendimentos siderúrgicos no estado de Minas Gerais (Cia Belgo Mineira e Acesita), que fizeram a opção pelo carvão vegetal como redutor do ferro e como fonte de energia para a produção do aço brasileiro.

O neologismo “Florestas Energéticas” surgiu nos anos 80’s para definir plantações de árvores orientadas para o uso energético do tronco das árvores. Pensava-se na época em aumentar a quantidade de biomassa seca por adensamento das plantações, visto que diversos artigos de pesquisa tinham mostrado que ao se conduzir as cepas do eucalipto para novas rotações, ao se deixarem 3 ou mais brotos,

conseguia-me muito maior quantidade de biomassa seca por hectare, embora de pior qualidade em termos de volumes de árvores e qualidade e proporção de madeira no tronco.

O próprio Edmundo Navarro de Andrade começou plantando cerca de 2.500 árvores por hectare, em espaçamentos 2m x 2m, visto que na época as florestas mostravam muito menores ritmos de crescimento e se fossem plantadas mais abertas e espaçadas, demorariam muito mais para se fechar o espaço destinado às árvores.

As plantações adensadas da década dos anos 80's suponham que se poderia reduzir o espaçamento para valores de 3m x 1m ou mesmo menos que isso, colocando 2 a 3 metros quadrados como espaço vital para cada árvore. Estimava-se que essas florestas poderiam ser colhidas entre 4 a 5 anos, mas os resultados foram desanimadores. A condução da brotação levava a *paliteiros*, com árvores que mais pareciam varetas e com dimensões muito variadas. Diversos pesquisadores sérios e renomados da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" começaram a mostrar inquietações sobre esses sistemas adensados e parece que as preocupações levaram ao término dessa inciativa de se plantarem demasiadas árvores por hectare (mais que 3.333 árvores como densidade populacional na época).

Diversas razões levaram os plantadores de florestas a descartarem a ideia:

- Primeiro, o produtor florestal não gostou dos resultados em termos de muitas árvores finas e de baixo volume para serem colhidas com motosserra, o sistema de colheita mais moderno da época.

- Segundo, os compradores de lenha e madeira energética detestaram os altos volumes desses troncos empilhados, com baixíssimos graus de empilhamento. As cargas e as pilhas eram muito volumosas, a densidade em matéria seca e a densidade energética eram desastrosas para quem estava acostumado a comprar madeiras energéticas densas e de árvores de maior volume individual.

- Terceiro, os problemas silviculturais desanimaram os plantadores: irregularidade da floresta (mudas seminais e irregularidades nas brotações), dificuldades enormes para condução dos brotos (milhares deles para serem removidos), custos elevados, dificuldades de mecanização das operações, etc., etc.

- Quarto, as alegadas ameaças ambientais feitas pela academia em termos de exportação de nutrientes, seca de nascentes e do lençol freático, perigo maior de incêndios, eliminação do sub-bosque e da biodiversidade pelo sombreamento excessivo, etc.

- Quinto, as perdas de produtividade e aumento da irregularidade do material colhido em rotações subsequentes à primeira.

Dessa forma, os sistemas adensados caíram em desuso e só foram ressuscitados cerca de duas décadas depois. Durante todos esses 20 anos de silvicultura, as florestas energéticas foram plantadas da mesma forma que as florestas para celulose e papel ou para painéis de madeira, somente que com outras espécies (*Eucalyptus urophylla, E.paniculata*, *E. cloeziana, Corymbia citriodora; C.maculata; E.tereticornis,* etc.) e eventualmente, com espaçamentos ligeiramente mais apertados, por exemplo 2,8 m x 1,8 m, dando cerca de 5 metros quadrados por planta, e densidade populacional de 2.000 árvores por hectare.

Durante todo esse período entre 1985 até 2005, as florestas energéticas foram definidas como sendo "as que formavam um sistema florestal que tinha como objetivo a produção de matéria-prima que fosse utilizada em sua maior proporção para finalidades energéticas". Com base nessa definição, se a floresta plantada de eucalipto tivesse como objetivo se extrair o tronco das árvores para uso como lenha ou para carbonização até carvão vegetal, essa floresta era claramente uma floresta energética.

Já se a floresta de eucalipto fosse plantada exatamente da mesma forma, mas a madeira fosse colhida para fabricação de celulose e apenas as cascas e os resíduos da colheita fossem destinados para biomassa energética, essa floresta não seria denominada de energética, mas provavelmente como "floresta multiuso".

A denominação "florestas energéticas" acabou sendo novamente aplicada para plantios adensados, quando diversos pesquisadores na UFV – Universidade Federal de Viçosa, liderados pelo nosso amigo Dr. Laércio Couto, procuraram plantar florestas adensadas, mas de materiais clonais mais homogêneos de eucaliptos e com novas tecnologias para plantar e colher essas florestas.

Com isso, os debates sobre os riscos desses plantios adensados ressurgiram, inclusive com alguns artigos de minha autoria, demonstrando as minhas enormes preocupações em relação a eles e aos compromissos por sustentabilidade dos que se aventurarem nesse tipo de

modelo silvicultural. O principal dele, que escrevi em 2011, lhes ofereci na íntegra ao final desse capítulo.

Notei, ao ler muitos desses artigos, que diversos autores desconhecem essa história, que estou lhes contando desde a época de Navarro de Andrade, e passaram a se apropriar da terminologia "florestas energéticas", dizendo que as florestas para serem energéticas precisam ser adensadas, com o que discordo. Até concordo que um povoamento adensado pode ser energético, mas uma floresta não adensada também pode, desde que seus produtos sejam preferencialmente destinados para bioenergia.

Felizmente não estou só nesse ponto de vista. Nosso estimado e competente amigo Rodrigo Hakamada (2012), com seu bom-senso, sabedoria e capacidade maravilhosa de avaliar o conceito com base em ensaios de campo, concluiu que florestas energéticas são florestas plantadas com as melhores práticas e tecnologias disponíveis de sustentabilidade, só que seus produtos seriam destinados à produção de energia e não celulose e papel, painéis de madeira, etc. Portanto, "uma floresta energética de eucalipto nada mais seria do que um sistema florestal plantado e manejado como outras florestas plantadas, no melhor estado-da-arte ambiental e silvicultural, só que orientado para produção predominantemente de bens energéticos".

Gostaria de reforçar aquilo que tanto eu como o Rodrigo mencionamos, ou seja, *sobre o uso da maior parte da matéria-prima florestal produzida pela floresta orientada para bioenergia*. Porém, quando dizemos a maior parte, não estamos dizendo toda a biomassa produzida pelo sistema florestal.

Estou reforçando isso porque tenho ouvido e lido muitos autores, alguns mesmo sendo celebridades mundiais na engenharia florestal, advogando e propondo a rapinagem para bioenergia de praticamente toda a biomassa produzida pela floresta além do tronco: como galhos, folhas, copa, touças, raízes, até mesmo serapilheira. Isso vai acabar conduzindo a desastres ambientais como jamais o setor de base florestal plantada teria a enfrentar, apenas poucos anos adiante.

Imaginem amigos: as folhas e a serapilheira ou manta orgânica que se forma na superfície do solo são as principais fontes de restituição de nitrogênio e carbono orgânico aos solos florestais. Elas também protegem o solo contra a erosão, compactação, ressecamento, oxidação, desagregação e favorecem o crescimento biológico da microvida dos solos. Caso elas sejam removidas, o desastre ambiental acontecerá muito rapidamente.

Devo ainda lembrar a todos, que os solos florestais brasileiros são pobres em nitrogênio, em cálcio, em potássio, em fertilidade como um todo – por isso são destinados a florestas de mais longo prazo e não para a agricultura anual de ciclos curtos. Em parte, essas fragilidades podem ser recuperadas pela decomposição desse material orgânico que alguns teimam em remover como se estivessem varrendo os solos, ou então sugando com possantes aspiradores de biomassa.

Temos poucas chances de colocar nitrogênio em nossos solos florestais: as rochas-mães dos solos brasileiros não oferecem nitrogênio aos nossos solos. O nitrogênio deverá vir das leguminosas fixadoras, da fertilização mineral, da adubação verde, da decomposição das plantas sobre o solo ou da poluição aérea.

Parabenizo com entusiasmo o amigo Rodrigo Hakamada, que com sua simplicidade de pensador de origem oriental nos disse mais ou menos o seguinte:

"Plantem da melhor forma possível e com sustentabilidade as florestas de eucalipto que vocês aprenderam a fazer ao longo desses anos todos - se os produtos dela forem preferencialmente para energia, então a chamem de floresta energética".

As florestas que aprendemos a fazer no Brasil já são florestas de rápido crescimento e possuem produtividades excepcionais em termos de volume/hectare.ano ou massa seca/hectare.ano. É óbvio que elas podem ser plantadas em espaçamentos mais apertados e serem colhidas em idades mais jovens. Somente recomendo, que aqueles que estudam isso ou querem produzir florestas energéticas dessa forma, que o façam com respeito e compromissos com os aspectos ambientais no curto, médio e longo prazo. O nível de impacto ambiental pode ser muito grande, a produtividade do sítio florestal fica muito mais ameaçada e as consequências são imprevisíveis. Até mesmo os resultados econômicos não serão os esperados – creiam-me ou leiam o que lhes ofereço mais adiante.

Não sou contra a que estude isso, apenas peço cautela e respeito nos estudos, nas propostas e nas aplicações do conceito de adensamento populacional. Até mesmo lhes oferecerei, mais adiante, uma sugestão de estudos sobre semi-adensamento florestal, plantando cerca de 2.222 árvores por hectare como densidade populacional (4,5 metros quadrados por planta) para buscar uma floresta semi-adensada com maior nível de sustentabilidade.

Independentemente de se adensadas ou não, as florestas energéticas são realidades plenas no Brasil e no mundo há séculos. A

sociedade tem produzido lenha e carvão vegetal há muito tempo, quer seja a partir de florestas plantadas ou mesmo de florestas naturais (mas para isso, recomenda-se também adequado nível de manejo).

Mais recentemente, essas florestas orientadas para bioenergia passaram a serem também chamadas de florestas dendroenergéticas e florestas fitoenergéticas. Esses novos nomes, apesar de charmosos, não são perfeitamente claros aos cidadãos – são mais nomes fantasias para valorizar o produto através de um tipo de *marketing* verde.

O termo fitoenergético é amplo, pois em biologia "fito é um prefixo que significa vegetal" e nem todas as plantas ou vegetais são árvores. Um cultivo de capim elefante não deixa de ser uma plantação fitoenergética, se sua biomassa for usada para fazer péletes, por exemplo.

Já o termo dendroenergético se refere mais à energia obtida de árvores, porém, nem todos os cidadãos sabem que o prefixo dendro significa árvore em biologia, até melhores esclarecimentos.

Nesse universo de bioenergia, preparem-se então para ouvirem e lerem muitos outros assuntos relacionados às florestas energéticas (e também cultivos agrícolas energéticos) e os derivados delas. Toda essa sopa de nomes tem praticamente o mesmo objetivo: definir que a bioenergia estará sendo a principal orientação dessa área de produção vegetal.

A vantagem das florestas energéticas é que elas costumam ser de alta produtividade em produção de biomassa, podem seguir procedimentos consagrados e certificados para mínimos impactos ambientais. Também são florestas plantadas com clones ou espécies florestais melhoradas para as finalidades que se deseja: se carvão vegetal, se lenha, se gaseificação, etc.

Outra vantagem das florestas é que o produtor pode ter alguma flexibilidade na venda dos produtos da floresta. Se o mercado energético estiver retraído no momento da colheita, ele pode conseguir na maioria das vezes achar outro tipo de mercado para a madeira: construção civil, serrarias, moirões, etc.

Ambientalmente falando, os produtos energéticos da floresta deveriam ser apenas a madeira e a casca do tronco até um diâmetro superior de tronco de 3 a 4 centímetros, deixando copa, ponteiros, galhos, raízes e folhas para agregar qualidade aos solos em que novas gerações de árvores crescerão. Caso se oriente a produção para remoção de resíduos da colheita, programem isso para não ser uma operação de rapinagem. É fundamental se manter uma cobertura sobre o solo para

não se expor o mesmo às intempéries causadas pelo sol, chuvas, máquinas agrícolas e florestais, etc.

Afinal, a floresta plantada é tão natural como os outros componentes do ecossistema onde ela se desenvolve: ela não é exclusiva proprietária desse sítio, nem o seu plantador é – há muita vida compartilhando a mesma área que precisa ser respeitada.

De acordo com meu entendimento, existem os seguintes tipos principais de florestas energéticas:

- Florestas plantadas em densidades populacionais tradicionais para os eucaliptos no Brasil, com 1.000 a 2.000 árvores por hectare (espaçamentos entre 3m x 2m a 3m x 3 m, com ligeiras variações e aproximações próximas a esses números) e colheitas entre 66 a 84 meses.

- Plantações adensadas de árvores, com plantios de 2.500 a 6.000 árvores/hectare e colheitas entre 24 a 36 meses.

- Florestas naturais manejadas para produção de lenha ou outra biomassa energética, com adequados níveis de planejamento ecológico e de manejo sustentável. Muitas vezes, os produtos energéticos são gerados nos desbastes de árvores.

- Sistemas agroflorestais envolvendo árvores em diversos arranjos, sendo que as árvores possuem orientação para produtos energéticos na propriedade rural ou para comercialização nas proximidades (lenha para olarias, etc.).

- Florestas plantadas mistas, incluindo mais de uma espécie florestal. É conhecido o caso de plantações florestais energéticas envolvendo eucaliptos e alguma leguminosa arbórea de rápido crescimento, como *Acacia mearnsii*, *Acacia mangium*, ou *Acacia melanoxylon*, dentre outras. Embora esse tipo de florestas seja pouco praticado no Brasil, trata-se de sistemas muito eficientes em produção de biomassa arbórea e de muito bom nível de qualidade ambiental.

Uma floresta energética que se fundamenta na alta produção de matéria orgânica seca por hectare precisa ser muito bem planejada e cultivada. As primeiras e principais decisões devem ser tomadas se avaliando a disponibilidade de mercados, recursos hídricos, qualidade do solo e material genético melhorado e com orientação à finalidade

energética. Antes mesmo de plantar a floresta, o produtor florestal deve tomar decisões em relação a quais os produtos da floresta que ele vai colher e depois fazer o quê com cada um deles. Ele pode, por exemplo, deixar os troncos para vender como lenha e os resíduos da colheita para produção de briquetes ou péletes. Também precisa organizar seu manejo para que os impactos ambientais sejam minimizados – isso se consegue melhor quando se fizer um plano de manejo inicial e prévio ao plantio, avaliando as fragilidades ecológicas do sítio e as exigências legais.

Também a colheita e os procedimentos pós-colheita precisam ser eleitos previamente, aproveitando melhor as condições locais. Com isso, podem ser planejadas as estradas, os pontos de armazenamento provisório de biomassa, etc. Um bom planejamento reduz custos, otimiza resultados e previne erosões, compactações de solo, acúmulos de resíduos na beira dos talhões, perdas de biomassa, etc.

Atualmente, a colheita dos produtos da floresta energética é toda feita com o uso de máquinas poderosas, que possuem excelentes rendimentos, baixos custos e altíssima velocidade de remoção do material da área florestal, o que favorece as operações silviculturais de condução das cepas ou de reforma da área. As máquinas de colheita podem abater, desgalhar, traçar e empilhar as toras e os resíduos. Existem máquinas capazes de produzir cavacos energéticos pela picagem dos resíduos no próprio campo, permitindo até que o material já possa ser convertido em péletes ou briquetes em unidades de conversão localizadas nas proximidades (em equipamentos especialmente desenhados para isso). O problema maior desse material fragmentado de resíduos é seu alto volume e baixa densidade a granel – por isso mesmo, a melhor solução é transportá-lo para locais próximos e densificá-lo por compactação.

O produtor florestal precisa ter muita clareza prévia em relação à orientação que dará aos materiais que se extrairão da floresta, quando essa estiver em condições de oferecer produtos:

- Produção de lenha de toras com casca?
- Produção de cavacos para venda?
- Produção de briquetes ou péletes?
- Produção de carvão vegetal?
- Queima direta da biomassa em alguma unidade termelétrica próxima?
- Produção de biocombustíveis de segunda geração? Etanol lignocelulósico? Bioóleo? Gás de madeira? Madeira torrificada?
- Outras destinações?

Cada orientação de produto pode demandar a escolha do melhor clone, do espaçamento de árvores, da idade de colheita, dos procedimentos na colheita, do procedimento correto para monitoramento da floresta ao longo da rotação, etc.

Em todos os casos, o produtor deve criar especificações rígidas de qualidade, resultados e tempos para otimizar o processo como um todo.

Inicialmente, o produtor florestal precisa ter a visão de que a produtividade da floresta de eucalipto não é uma benção divina e nem do eucalipto – se ele não batalhar por ela, não terá o sucesso que sonha obter.

Dentre os fatores chaves da silvicultura e do tipo de produto que o reflorestador deseja obter citam-se os seguintes principais:

- Seleção do clone ou espécie de eucalipto;
- Estimativa da densidade populacional, espaço destinado a cada planta, orientação das plantas nas linhas de espaçamento, etc.;
- Estimativa da idade de colheita;
- Definição do plano de monitoramento do crescimento e da produtividade;

- Estabelecimento de práticas de manejo adequadas (qualidade das mudas, combate à matocompetição, irrigação no plantio, plano de fertilização, monitoramento de pragas e doenças, prevenção contra incêndios, etc.)

- Definição das práticas de ecoeficiência para minimização dos efeitos ambientais e sociais negativos (proteção da biodiversidade, recursos hídricos, solo, balanço nutricional, erosão, etc.)

- Eficiente sistema de identificação dos custos operacionais;

- Planejamento da logística silvicultural e da colheita;

- Criação de indicadores chaves de monitoramento e rastreabilidade;

- Etc.

As empresas de base florestal plantada e muitas universidades e institutos de pesquisa estão dedicando muitos estudos para entender melhor e aperfeiçoar as relações entre as árvores, as produtividades e a sustentabilidade no longo prazo da atividade florestal energética. Também existem muitas pesquisas focadas em usos da bioenergia e produtos bioenergéticos. Enfim, é um assunto em ebulição.

Nos aspectos florestais, as pesquisas têm colocado foco em:

- Melhoramento genético das florestas, objetivando produtividade, qualidade dos produtos energéticos, herdabilidade das características desejadas, etc.

- Biotecnologias florestais, englobando genômica, transgenia, clonagem, controle biológico de pragas e doenças, etc.;

- Produção de clones específicos para cada produto energético que se deseja produzir: uma biomassa para carvão pode não ter as mesmas especificações de outra para lenha ou para peletização, por exemplo.

- Produção de clones mais eficientes na utilização dos fatores de produção: água, nutrientes, luz solar, etc.;

- Introdução de clones de espécies puras e com maior aptidão energética: *Eucalyptus cloeziana, E.brassiana, E.benthamii; Corymbia torelliana, C.citriodora,* etc.

- Introdução de clones de híbridos com alto potencial energético: *Eucalyptus camaldulensis* x *E.urophylla*; *Corymbia citriodora* x *C.torelliana*, etc.

- Promoção de maior alocação de biomassa arbórea no tronco das árvores e mais especificamente no xilema do tronco;

- Melhoramento da qualidade da biomassa energética produzida pelas árvores: teor de lignina, teor de extrativos, poder calorífico, densidade básica, densidade energética, teor de cinzas, etc.;

- Melhoramento da qualidade da biomassa energética pós-colheita florestal: teor de contaminantes, teor de umidade, uniformidade de composição, tamanho das partículas do combustível fragmentado ou picado no campo, densidade a granel, etc., etc.

Observando-se essas listas apresentadas de requisitos para as florestas energéticas, percebe-se com facilidade que uma floresta destinada a produção de bioenergia será bem diferente (em tipo de clone ou espécie e qualidade da madeira) em relação a florestas destinadas à produção de celulose e papel, madeira serrada, móveis, painéis de madeira, etc. *Por essa razão, a denominação floresta energética acaba não sendo meramente um nome fantasia, mas sim um tipo de florestas com propósitos, condições de manejo e orientação de produtos bem específicos e definidos*.

Conclusivamente, a biomassa florestal produzida pelas florestas energéticas pode se constituir em uma forma segura, equilibrada e adequada para prover a sociedade com uma fonte energética limpa, ecoeficiente e renovável. Tendo em vista as tendências para a bioenergia, há muitas expectativas de crescimento e de amadurecimento tecnológico e mercadológico dessa atividade de produção florestal orientada ao uso energético das árvores.

As florestas energéticas podem representar ganhos ambientais importantes em relação ao uso de outros tipos de energia, inclusive de outras biomassas. Elas também podem ajudar a melhorar a qualidade de vida, do ambiente e da economia do País.

Nosso País é internacionalmente reconhecido e admirado por seus resultados maravilhosos em produtividade e tecnologias florestais, bem como pela sua extensão territorial e disponibilidade de terras para alicerçar esse crescimento florestal em base de novas plantações. Resta apenas trabalhar para que isso aconteça de maneira saudável e sustentável.

Também é fundamental se trabalhar melhor a imagem da bioenergia florestal, para evitar conflitos que já são comuns com a eucaliptocultura tradicional. Isso para evitar que sonhos acabem se convertendo em pesadelos, como tem acontecido em alguns municípios dos estados de São Paulo e Espírito Santo, com proibições de novas plantações de eucaliptos por alguns municípios.

Também as oscilações dos mercados da bioenergia precisam ser disciplinadas, e isso não se consegue sozinho. Aliás, tudo o que mencionamos precisa de maiores níveis de parcerias e compartilhamentos, inclusive dos resultados econômicos auferidos pelo setor.

Resíduos florestais e resíduos da colheita – até onde podem ser sustentavelmente extraídos da floresta?

==========

VALORAÇÃO ENERGÉTICA DE FLORESTAS PLANTADAS DE EUCALIPTO

Existe uma grande diversidade de formas de se plantar e manejar uma floresta energética de eucalipto em função de clones, espécies, espaçamento, idade de colheita, objetivo de tipo de biomassa energética, etc.

Independente de tudo o que se planejar ou desejar, o certo é que a maior parte da biomassa estará estocada nos troncos das árvores, que representa entre 60 a 75% do peso seco da biomassa total das árvores. Ponteiros contendo madeira fina de tronco e galhos podem representar aproximadamente 10%, folhas 2 a 4% e raízes entre 10 a 12%, tudo dependendo da qualidade e dimensões das árvores.

O produtor também precisa estar ciente de quanto mais jovem ele colher sua floresta, menor será a proporção de tronco na biomassa colhida e maior será a percentagem de casca nesse tronco.

Florestas de eucalipto com 7 a 9 anos, plantadas em espaçamentos tradicionais (3m x 2m, por exemplo) possuem no tronco de suas árvores um percentual entre 70 a 80% do peso seco da biomassa total das árvores. Nesse caso, só a madeira do tronco representa entre 70 a 75% dessa biomassa total (incluído as raízes) produzida pela floresta.

Por outro lado, florestas mais jovens de plantios adensados, colhidas aos 3 anos, por exemplo, possuem muito menos tronco (máximo de 60 a 65%) em sua biomassa total, sendo maiores as proporções em peso seco das raízes (12%), ramos (6 a 8%), ponteiros (12 a 14%) e folhas (4%).

Os teores de casca também variam bastante entre esses dois tipos de troncos. Os troncos de árvores mais avantajados (acima de 0,25 m³/árvore) possuem cerca de 6 a 10% do peso do tronco; enquanto de árvores mais diminutas (menores que 0,1 m³/árvore) possuem a casca representando 8 a 15% do peso do tronco.

São por essas e outras razões que os plantadores de florestas adensadas querem colher tudo o que podem das florestas e não apenas a madeira ou o tronco. Teriam, apenas com os troncos, mais baixas produtividades em biomassa e muita geração de resíduos de colheita. Com isso, acabam cometendo uma espécie de pedofilia (cortando as árvores muito jovens) e rapinagem (colhendo tudo o que puderem remover da floresta).

Nessas idades infantis, também a serapilheira é pobre, pois não houve tempo para muito depósito de folhedo e galharias; tampouco houve tempo para muita decomposição da manta orgânica da superfície do solo.

Os principais materiais genéticos plantados em florestas energéticas são clones especializados de espécies puras ou híbridos de dois gêneros: *Eucalyptus* e *Corymbia*. As principais espécies que participam desse processo de hibridação e clonagem são as seguintes:

- *Eucalyptus urophylla;*
- *E. cloeziana;*
- *E.pellita;*
- *E.tereticornis;*
- *E.camaldulensis;*
- *E.brassiana;*
- *E.benthamii;*
- *E.dunnii;*
- *E.saligna;*
- *E.grandis;*
- *E.pilularis;*
- *E.urograndis (híbrido);*
- *Corymbia citriodora;*
- *C.maculata;*
- *C.torelliana,* dentre outras.

A clonagem objetiva aumentar a produtividade dos materiais florestais, em função do conhecido fenômeno fisiológico da heterose ou vigor híbrido. Ela também permite melhorias em propriedades da madeira e das árvores, como forma, resistência a pragas e doenças, densidade básica, teor de lignina, poder calorífico, densidade energética, etc.

Espécies e clones intraespecíficos (dentre de uma espécie) ou interespecíficos (híbridos) conduzem a florestas com produtividades em tronco variando entre 30 a 60 m³/hectare.ano. Frente aos valores de densidade básica, que variam entre 0,4 a 0,7 toneladas de biomassa seca por metro cúbico sólido nas madeiras e entre 0,25 a 0,4 t secas/m³ sólido na casca, podem-se atingir produtividades variadas em termos de peso seco/hectare.ano. Também afeta isso a proporção de casca nos troncos, que podem variar entre 6 a 15% em termos de peso seco no tronco.

Duas das principais causas dessas variações são: a idade da floresta na colheita e a dimensão média do tronco de cada árvore individual. A idade da árvore afeta suas dimensões, a sua densidade básica, o teor de casca, o teor de extrativos e muitas outras propriedades fundamentais para a produção de biomassa energética. Florestas mais velhas de um mesmo clone tendem a possuir proporcionalmente mais tronco e mais madeira, maiores densidades básicas, maiores volumes por árvore, maiores densidades energéticas e menores custos de colheita.

Outro efeito bastante positivo da idade da colheita é o acúmulo maior de serapilheira ou manta orgânica sobre o solo. Os estudos mostram que o eucalipto deposita entre 5 a 8 toneladas de serapilheira em base de peso seco por ano, ao longo de rotações mais longas (próximas a 6 a 8 anos). Essa serapilheira é composta de aproximadamente 60% de folhas, 25% de galhos e 15% de casca.

Outra deposição importante de material sobre o solo acontece no momento da colheita, onde muitos resíduos florestais, mesmo que retirados em sua maior parte, ficam depositados sobre o solo, especialmente folhas. Quando deixamos as toras esperando para secagem natural e perda de umidade, muitas folhas se desprendem e caem sobre o solo para fertilizá-lo.

Caso a casca também seja removida dos troncos e deixada nas florestas, como é o caso nas operações florestais de muitas fábricas de celulose e papel, a quantidade de matéria orgânica e de nutrientes que retornam para ciclagem natural é absolutamente notável.

Toda ou grande parte dessa maravilhosa ciclagem de nutrientes e de carbono humificado pode-se perder quando removemos muita da matéria seca fabricada pelas árvores. Existem empresas com apetite

biomássico tão intenso, que removem inclusive as touças e as raízes para conversão em cavacos energéticos.

Até o momento eu tenho insistido em mostrar vantagens e preocupações em relação ao plantio de florestas de eucaliptos para produção de bioenergia.

A partir de agora nessa seção, pretendo lhes trazer alguns exemplos práticos de situações da vida diária de nossas florestas, onde o objetivo foi de valorar ou valorizar as quantidades de energia primária que alguns tipos de florestas de eucalipto podem produzir.

Nesses quatro exemplos de situações de florestas energéticas, vou considerar que estamos tentando avaliar disponibilidades dos troncos das mesmas, caso sejam removidos como biomassa até um diâmetro mínimo de 4 centímetros, ficando os resíduos dispostos sobre o solo.

Também é objetivo desses cálculos estimar a quantidade máxima de resíduos das colheitas em cada uma das quatro florestas, para fins meramente de avaliações preliminares.

Resumidamente, essas quantificações visam a estimar:

- Estoque de energia primária nos troncos das árvores de cada tipo de florestas (Gcal/hectare)
- Acúmulo anual de energia primária nos troncos (Gcal/hectare.ano)
- Estoque de carbono elementar na biomassa aérea das florestas no momento da colheita (toneladas secas/hectare)
- Acúmulo anual de carbono elementar pela biomassa florestal aérea (toneladas secas/hectare.ano)
- Quantidade potencial (máxima) de resíduos da colheita florestal (Toneladas secas/hectare)

Situação 01:

Floresta de eucalipto colhida aos 7 anos de idade, plantada em espaçamento 3m x 2,5m, com as seguintes características de floresta e de biomassa:

- Número de árvores: 1.333 / hectare;
- Incremento médio anual: 45 m³/hectare.ano;
- Densidade básica da madeira: 0,52 t a.s./m³ sólido
- Densidade básica da casca: 0,4 t a.s./m³ sólido
- Teor de casca no tronco, base volume: 12%
- Percentagem representada pelo tronco em relação à biomassa aérea das árvores: 86% do peso seco da parte acima do solo da floresta
- Perdas de biomassa na colheita em percentual do peso seco do tronco colhido: 3%
- Poder calorífico inferior da madeira (excluindo a fração correspondente ao hidrogênio constituinte da biomassa madeira): 4.500 Mcal/t a.s.
- Poder calorífico inferior da casca (excluindo a fração correspondente ao hidrogênio constituinte da biomassa casca): 3.900 Mcal/t a.s.
- Teor de carbono elementar na biomassa madeira: 46% do peso seco

- Teor de carbono elementar na biomassa casca: 43% do peso seco

t a.s. = toneladas absolutamente secas

Situação 02:

Floresta de eucalipto colhida aos 6 anos de idade, plantada em espaçamento 3m x 2m, com as seguintes características de floresta e de biomassa:

- Número de árvores: 1.667 / hectare;
- Incremento médio anual: 50 m³/hectare.ano;
- Densidade básica da madeira: 0,50 t a.s./m³ sólido
- Densidade básica da casca: 0,38 t a.s./m³ sólido
- Teor de casca no tronco, base volume: 12%
- Percentagem representada pelo tronco em relação à biomassa aérea das árvores: 84% do peso seco da parte acima do solo da floresta
- Perdas de biomassa na colheita em percentual do peso seco do tronco: 3%
- Poder calorífico inferior da madeira (excluindo a fração correspondente ao hidrogênio constituinte da biomassa madeira): 4.500 Mcal/t a.s.
- Poder calorífico inferior da casca (excluindo a fração correspondente ao hidrogênio constituinte da biomassa casca): 3.800 Mcal/t a.s.
- Teor de carbono elementar na biomassa madeira: 46% do peso seco
- Teor de carbono elementar na biomassa casca: 42% do peso seco

t a.s. = toneladas absolutamente secas

Situação 03:

Floresta de eucalipto colhida aos 4 anos de idade, plantada em espaçamento 3m x 1,5m, com as seguintes características de floresta e de biomassa:

- Número de árvores: 2.222 / hectare;
- Incremento médio anual: 55 m³/hectare.ano;
- Densidade básica da madeira: 0,47 t a.s./m³ sólido
- Densidade básica da casca: 0,35 t a.s./m³ sólido
- Teor de casca no tronco, base volume: 16%
- Percentagem representada pelo tronco em relação à biomassa aérea das árvores: 78% do peso seco da parte acima do solo da floresta
- Perdas de biomassa na colheita em percentual do peso seco do tronco: 4,5%
- Poder calorífico inferior da madeira (excluindo a fração correspondente ao hidrogênio constituinte da biomassa madeira): 4.450 Mcal/t a.s.
- Poder calorífico inferior da casca (excluindo a fração correspondente ao hidrogênio constituinte da biomassa casca): 3.750 Mcal/t a.s.
- Teor de carbono elementar na biomassa madeira: 45% do peso seco
- Teor de carbono elementar na biomassa casca: 41% do peso seco

t a.s. = toneladas absolutamente secas

Situação 04:

Floresta de eucalipto colhida aos 3 anos de idade, plantada em espaçamento 3m x 1m, com as seguintes características de floresta e de biomassa:

- Número de árvores: 3.333 / hectare;
- Incremento médio anual: 65 m³/hectare.ano;
- Densidade básica da madeira: 0,45 t a.s./m³ sólido
- Densidade básica da casca: 0,32 t a.s./m³ sólido
- Teor de casca no tronco, base volume: 20%
- Percentagem representada pelo tronco em relação à biomassa aérea das árvores: 73% do peso seco da parte acima do solo da floresta
- Perdas de biomassa na colheita em percentual do peso seco do tronco: 5,5%
- Poder calorífico inferior da madeira ((excluindo a fração correspondente ao hidrogênio constituinte da biomassa madeira): 4.400 Mcal/t a.s.
- Poder calorífico inferior da casca ((excluindo a fração correspondente ao hidrogênio constituinte da biomassa casca): 3.700 Mcal/t a.s.
- Teor de carbono elementar na biomassa madeira: 44% do peso seco
- Teor de carbono elementar na biomassa casca: 40% do peso seco

t a.s. = toneladas absolutamente secas

Tipo de floresta / Dados florestais	Idade da colheita			
	7 anos	**6 anos**	**4 anos**	**3 anos**
Espaçamento	3m x 2,5m	3m x 2m	3m x 1,5m	3m x 1m
Densidade populacional *(Nº/ha)*	1.333	1.667	2.222	3.333
Idade de colheita *(anos)*	7	6	4	3
IMA – Incremento Médio Anual *(m³/hectare.ano)*	45	50	55	60
Volume de tronco colhido (m³/ha)	315	300	220	180
Teor de casca no tronco *(%Volume)*	12	12	16	20
Teor de madeira no tronco *(%Volume)*	88	88	84	80
Produção de volume de madeira na colheita *(m³/hectare)*	277,2	264	184,8	144
Produção de volume de casca na colheita *(m³/hectare)*	37,8	36	35,2	36
Densidade básica da madeira *(t a.s./m³ sólido)*	0,52	0,50	0,47	0,45
Densidade básica da casca *(t a.s./m³ sólido)*	0,4	0,38	0,35	0,32
Peso seco de madeira de tronco na colheita *(t a.s./hectare)*	144,1	132	86,9	64,8
Peso seco de casca de tronco na colheita *(t a.s./hectare)*	15,1	13,7	12,3	11,5
Perdas de peso seco de madeira e de casca de tronco na operação de colheita *(%)*	3	3	4,5	5,5
Peso seco corrigido de madeira de tronco na colheita *(t a.s./hectare)*	139,8	128	83	61,2
Peso seco corrigido de casca de tronco na colheita *(t a.s./hectare)*	14,6	13,3	11,8	10,9

Tipo de floresta / Dados florestais	Idade da colheita			
	7 anos	**6 anos**	**4 anos**	**3 anos**
Peso seco total de madeira + casca colhidas do tronco *(t a.s./hectare)*	154,4	141,3	94,8	72,1
Produtividade florestal colhida em peso seco de tronco/hectare.ano *(t a.s./ha.ano)*	22,06	23,55	23,7	24,0
Poder calorífico inferior da madeira colhida nos troncos *(Mcal/t a.s.)*	4.500	4.500	4.450	4.400
Poder calorífico inferior da casca colhida nos troncos *(Mcal/t a.s.)*	3.900	3.800	3.750	3.700
Potencial em energia primária na madeira colhida de tronco *(Gcal/hectare)*	629,1	576,0	369,35	269,28
Potencial em energia primária na casca colhida de tronco *(Gcal/hectare)*	56,94	50,54	44,25	40,33
Potencial em energia primária nos troncos colhidos *(Gcal/hectare)*	686,04	626,54	413,6	309,61
Poder calorífico médio do tronco *(Mcal/t a.s.)*	4.443	4.434	4.363	4.295
Produtividade florestal equivalente em energia nos troncos das árvores *(Gcal/hectare.ano)*	98	104,4	103,4	103,2
Teor de carbono na madeira seca *(%Peso)*	46	46	45	44
Teor de carbono na casca seca *(%Peso)*	43	42	41	40
Quantidade estocada carbono na madeira colhida de tronco *(t/ha)*	64,3	58,9	37,4	26,9
Quantidade estocada carbono na casca colhida de tronco *(t/ha)*	6,3	5,6	4,8	4,4

Tipo de floresta / Dados florestais	Idade da colheita			
	7 anos	**6 anos**	**4 anos**	**3 anos**
Quantidade estocada total de carbono nos troncos no momento da colheita florestal *(t/ha)*	70,6	64,5	42,2	31,3
Produtividade anual equivalente em carbono estocado nos troncos da floresta *(t/ha.ano)*	10,1	10,75	10,55	10,45

t a.s. = toneladas absolutamente secas

Os resultados apresentados até o final dessa longa tabela acima desenhada indicam o que a maior parte das pesquisas têm revelado, ou seja, que a produtividade apenas em madeira e casca nos troncos não agrega vantagem competitiva significativa aos plantios adensados de eucaliptos. As quantidades disponibilizadas de energia primária e de carbono estocado pelos troncos das florestas não varia muito entre os diferentes tipos de florestas que foram apresentados como exemplos.

Isso se deve ao fato que a proporção em troncos comerciais na biomassa aérea das árvores de plantações adensadas é menor em relação ao que se obtém em árvores crescendo em espaçamentos mais abertos. Também a proporção de casca é maior para as árvores que crescem adensadamente em intensa competição, quando disputam uma com as outras os elementos vitais para seu crescimento.

Dessa forma, os plantios adensados não se justificam apenas para a colheita de madeira ou de troncos finos com altos teores de casca.

Pode-se perfeitamente notar nessa tabela exemplo acima apresentada que a produtividade equivalente a peso seco de madeira ou de tronco (t a.s./ha.ano) e de energia primária estocada (Gcal/ha.ano) não são justificativas fortes para as plantações adensadas.

Vamos agora desenhar a segunda parte dessa tabela, incluindo também nela o restante de biomassa produzida por cada tipo de floresta, ou seja, valorando também o que chamaremos de parte recuperável para comercialização do restante da biomassa arbórea produzida pela parte aérea desses tipos escolhidos como exemplo de florestas de eucaliptos.

Na verdade, estamos agora cuidando da valoração dos resíduos da colheita, sendo que será adotada para efeito de avaliações quantitativas uma taxa de recuperação de 90% dessa biomassa mista de resíduos da colheita.

Para essa biomassa aérea mista de galhos, folhas e copa será estabelecido um poder calorífico inferior médio de 4.400 Mcal/tonelada absolutamente seca, em todas as situações.

Tipo de floresta / Dados florestais	Idade da colheita			
	7 anos	**6 anos**	**4 anos**	**3 anos**
Espaçamento	3m x 2,5m	3m x 2m	3m x 1,5m	3m x 1m
Densidade populacional *(Nº/ha)*	1.333	1.667	2.222	3.333
Peso seco total de madeira + casca colhida do tronco *(t a.s./hectare)*	154,4	141,3	94,8	72,1
%Biomassa seca de tronco em relação à biomassa aérea total da floresta no momento da colheita	86	84	78	73
Potencial estimado de peso de resíduos na colheita *(t a.s./hectare)*	25,1	26,9	26,7	26,7
Potencial de peso de resíduos recuperados colheita *(t a.s./hectare)*	22,6	24,1	24,0	24,0
Produção total de biomassa energética florestal *(t a.s./hectare)*	177	165,4	118,8	96,1
Poder calorífico inferior biomassa resíduos da colheita *(Mcal/ t a.s.)*	4.400	4.400	4.400	4.400
Potencial em energia primária nos troncos colhidos *(Gcal/hectare)*	686,04	626,54	413,6	309,61
Potencial em energia primária nos resíduos aproveitáveis da colheita *(Gcal/hectare)*	99,44	106,04	105,6	105,6
Potencial total de energia primária da floresta (troncos+resíduos) *(Gcal/hectare)*	785,48	732,58	519,2	415,21
Produtividade florestal em peso seco de biomassa energética aproveitável *(t a.s./hectare.ano)*	25,28	27,56	29,7	32,03
Produtividade florestal energética equivalente *(Gcal/hectare.ano)*	112,2	122,1	129,8	138,4

t a.s. = toneladas absolutamente secas

Acredito que essas duas tabelas mostradas recentemente nessa seção demonstram claramente as razões pelas quais tenho ressaltado que os plantadores de florestas energéticas adensadas não se contentarão em colher apenas a biomassa arbórea de tronco, mas também os resíduos da colheita e até as raízes. Isso porque sua produtividade teórica aumenta em quase 30%, ou inclusive mais, caso se incluam as raízes.

Porém fica uma pergunta: e a sustentabilidade dessa produtividade no médio e longo prazo? Quem vai garantir a sua manutenção e a sustentabilidade produtiva de longo prazo desse sítio florestal, até mesmo para outras utilizações agropastoris?

Há ainda pouca ciência e poucos resultados de médio e longo prazo para essas florestas adensadas, como discutiremos mais adiante, em outra seção desse capítulo. Então se algo pode acontecer nesse sentido de máxima extração de biomassa por área florestal, que seja com base em muita ciência e muitas garantias e responsabilidades. Estarei atendo a isso – monitorando e escrevendo mais sobre o tema – PROMETO ISSO A VOCÊS, QUE SÃO SILVICULTORES E FLORESTAIS CONSCIENTES!

Para finalizar esses exemplos de valorações quantitativas, estou a lhes trazer mais um exemplo, agora de uma situação bem característica e peculiar no setor de florestas energéticas.

Exemplificarei com duas situações de florestas de clones com distintos ritmos de crescimento (*Eucalyptus urograndis* e *Eucalyptus paniculata*) em diferentes idades de colheita. Também demonstrarei a importância da qualidade das madeiras desses clones, um de média densidade básica (*E.urograndis*) e outro de densidade bastante alta (*E.paniculata*).

Vamos lá, então:

Situação 5: Floresta energética de *E.urograndis* com as seguintes características florestais e de qualidade da biomassa energética:

- Espaçamento original de plantio: 3m x 2m;
- Número de árvores: 1.667 / hectare;
- Taxa de sobrevivência das árvores plantadas: 95%
- Idade de colheita: 7 anos;
- Produtividade em volume de tronco: 45 m³/hectare.ano
- Densidade básica da madeira: 0,52 t a.s./m³ sólido
- Densidade básica da casca: 0,4 t a.s./m³ sólido
- Teor de casca no tronco, base volume: 12%
- Teor de madeira no tronco, base volume: 88%
- Perdas de biomassa na colheita em percentual do peso seco do tronco: 3%
- Poder calorífico inferior da madeira (excluindo a fração correspondente ao hidrogênio constituinte da biomassa madeira): 4.400 Mcal/t a.s.
- Poder calorífico inferior da casca (excluindo a fração correspondente ao hidrogênio constituinte da biomassa casca): 3.800 Mcal/t a.s.

Situação 6: Floresta energética de *E.paniculata (*popular *"ferrinho")* com as seguintes características florestais e de qualidade da biomassa energética:

- Espaçamento original de plantio: 3m x 2m;
- Número de árvores: 1.667 / hectare;
- Taxa de sobrevivência das árvores plantadas: 85%
- Idade de colheita: 10 anos;
- Produtividade em volume de tronco: 30 m³/hectare.ano
- Densidade básica da madeira: 0,72 t a.s./m³ sólido
- Densidade básica da casca: 0,45 t a.s./m³ sólido
- Teor de casca no tronco, base volume: 15%
- Teor de madeira no tronco, base volume: 85%
- Perdas de biomassa na colheita em percentual do peso seco do tronco: 5%
- Poder calorífico inferior da madeira (excluindo a fração correspondente ao hidrogênio constituinte da biomassa madeira): 4.600 Mcal/t a.s.
- Poder calorífico inferior da casca (excluindo a fração correspondente ao hidrogênio constituinte da biomassa casca): 3.950 Mcal/t a.s.

O objetivo principal dessas novas tabelas que lhes serão apresentadas foi o de comparar a produtividade equivalente em produção de biomassa seca e equivalente em energia primária para as duas florestas em questão.

Espécie florestal Dados florestais	*E. urograndis*	*E. paniculata*
Espaçamento	3m x 2m	3m x 2m
Densidade populacional *(Nº/hectare)*	1.667	1.667
Taxa sobrevivência *(%)*	95	85
Idade da colheita *(anos)*	7	10
Número árvores colhidas	1.583	1.416
Produtividade florestal em volume de tronco comercial *(m³/hectare.ano)*	45	30
Produção teórica de volume de troncos comerciais na colheita *(m³/hectare)*	315	300
Teor de madeira no tronco *(%Volume)*	88	85
Teor de casca no tronco *(%Volume)*	12	15
Produção teórica de volume de madeira de tronco na colheita *(m³/hectare)*	277,2	255
Produção teórica de volume casca de tronco na colheita *(m³/hectare)*	37,8	45
Densidade básica da madeira do tronco *(t a.s./m³ sólido)*	0,52	0,72
Densidade básica da casca do tronco *(t a.s./m³ sólido)*	0,4	0,45
Produção estimada de peso seco de madeira de tronco na colheita *(t a.s./hectare)*	144,1	183,6
Produção estimada de peso seco de casca de tronco na colheita *(t a.s./hectare)*	15,1	20,25
Perdas de peso de tronco na colheita *(%)*	3	5
Produção efetiva de madeira de tronco na colheita *(t a.s./hectare)*	139,8	174,4
Produção efetiva de casca de tronco na colheita *(t a.s./hectare)*	14,6	19,2
Produção efetiva de biomassa de tronco na colheita *(t a.s./hectare)*	154,4	193,6
Produtividade média anual em peso de tronco sendo colhido *(t a.s./hectare.ano)*	22,1	19,36
Poder calorífico inferior da madeira *(Mcal/t a.s.)*	4.400	4.600
Poder calorífico inferior da casca *(Mcal/t a.s.)*	3.800	3.950
Produção de energia primária pela madeira do tronco *(Gcal/hectare)*	615,12	802,24
Produção de energia primária pela casca do tronco *(Gcal/hectare)*	55,48	75,84
Produção de energia primária pelos troncos da floresta *(Gcal/hectare)*	670,6	878,08

t a.s. = toneladas absolutamente secas

Espécie florestal Dados florestais	*E. urograndis*	*E. paniculata*
Produtividade média anual em energia primária de tronco colhido *(Gcal/hectare.ano)*	95,8	87,8
Peso médio de cada tronco colhido *(kg/tronco)*	97,6	136,7
Densidade básica média de tronco colhido *(t a.s./m³ sólido)*	0,506	0,679
Volume médio estimado de cada tronco colhido *(m³/tronco)*	0,193	0,201
Produção efetiva florestal em volume de troncos colhidos *(m³/hectare)*	305,6	285
Densidade energética do material colhido (madeira+casca de tronco) *(Mcal/m³)*	2.195	3.081
Quantidade de energia primária por tronco colhido *(Mcal/tronco)*	423,6	619,4
Poder calorífico médio dos troncos colhidos (madeira+casca) *(Mcal/t a.s.)*	4.340	4.531

t a.s. = toneladas absolutamente secas

Apesar da produtividade volumétrica dessas duas florestas energéticas recém-avaliadas ser bem maior para o caso do *E.urograndis* (1,5 vezes maior), em termos de equivalência em energia primária, a superioridade do *E.urograndis* em relação ao *E.paniculata* foi de apenas 1,1 vezes. Isso é sem dúvidas devido às muito maiores densidades básicas e densidades energéticas dessa floresta da situação 6. A energia está bem mais concentrada por unidade de volume de tronco na floresta de *E.paniculata*, como os números das tabelas demonstraram.

Até o momento, tenho apresentado os potenciais de produção energética pelas florestas de eucalipto em termos dos pesos secos dos materiais produzidos e colhidos (Mcal/t a.s.; Gcal/hectare em base peso seco produzido de tronco; Gcal/ha.ano, etc.). Ou seja, temos utilizado nas avaliações o poder calorífico inferior base biomassa seca de tronco e de resíduos da colheita.

Essa estratégia é importante para se conhecer o potencial de produção de energia primária pelas florestas, mas essa produção não será a que será disponibilizada aos usuários como energia. Isso se deve ao fato que toda biomassa energética florestal sempre terá alguma umidade no momento de seu uso, teor esse que pode variar entre 10 a 45%, em geral.

Como já visto em seção anterior, o poder calorífico útil é aquele que será possível de ser conseguido levando-se em conta a umidade da biomassa e a perda de energia necessária para aquecer e evaporar a água correspondente a essa umidade.

Uma das fórmulas mais utilizadas para se calcular o poder calorífico útil (PCUtil) de biomassas lenhosas é a proposta pelo professor José Otávio Brito (1993), já mostrada anteriormente:

$$\mathbf{PCUtil = PCI \times [(100 - U)/100] - 6U}$$

Onde:

U = Teor percentual de umidade base peso úmido

PCI = Poder Calorífico Inferior (Mcal/t seca)

PCUtil = Poder Calorífico Útil na umidade tal qual (Mcal/t tal qual)

Pretendo com a aplicação dessa fórmula do Dr. Brito dar continuidade à tabela anterior em que comparamos *E.urograndis* e *E.paniculata* em termos das acumulações de energia primária em suas biomassas de tronco. Naquele exemplo recém visto, calculamos os poderes caloríficos inferiores com base em peso seco para cada uma dessas duas biomassas (em valores médios para seus troncos, incluindo madeira e casca).

PCI médio do tronco de *E.urograndis* = 4.340 Mcal/t a.s.

PCI médio do tronco de *E.paniculata* = 4.531 Mcal/t a.s.

A partir desses dois dados médios de PCI, vamos agora calcular os valores de PCUtil para dois níveis de teores de umidade: 20% e 40%.

Para biomassa de *E.urograndis* com 20% de umidade:

$$PCUtil = PCI \times [(100 - U)/100] - 6U$$

$$PCUtil = 4.340 \times [(100 - 20)/100] - 6 \cdot 20$$

PCUtil = **3.352 Mcal/t de biomassa de *E.urograndis* a 20% de umidade**

Para biomassa de *E.paniculata* com 20% de umidade:

$$PCUtil = PCI \times [(100 - U)/100] - 6U$$

$$PCUtil = 4.531 \times [(100 - 20)/100] - 6 \cdot 20$$

PCUtil = **3.504 Mcal/t de biomassa de *E.paniculata* a 20% de umidade**

Para biomassa de *E.urograndis* com 40% de umidade:

$$PCUtil = PCI \times [(100 - U)/100] - 6U$$

$$PCUtil = 4.340 \times [(100 - 40)/100] - 6 \cdot 40$$

PCUtil = **2.364 Mcal/t de biomassa de *E.urograndis* a 40% de umidade**

Para biomassa de *E.paniculata* com 40% de umidade:

$$PCUtil = PCI \times [(100 - U)/100] - 6U$$

$$PCUtil = 4.531 \times [(100 - 40)/100] - 6 \cdot 40$$

PCUtil = **2.479 Mcal/t de biomassa de *E.paniculata* a 40% de umidade**

A partir desses dados e de alguns outros colhidos na tabela anterior, pretendo agora lhes mostrar quanto de efetiva energia útil se poderá obter de cada uma das duas florestas (situações 5 e 6) em diferentes níveis de umidade para as biomassas.

Obviamente, teremos também que corrigir as produções de biomassa, passando a expressar as mesmas também em teores de umidades de 20% e 40%. Isso se faz de forma simples, a partir de uma simples relação entre peso seco e peso úmido da biomassa, que se denomina de consistência ou teor de secos.

Espécie florestal / **Dados florestais**	***E. urograndis***	***E. paniculata***
Idade da colheita *(anos)*	7	10
Produção efetiva florestal em volume de troncos colhidos *(m³/hectare)*	305,6	285
Produção efetiva de biomassa de tronco na colheita base peso seco *(t a.s./hectare)*	154,4	193,6
Produção efetiva de biomassa de tronco a 20% de umidade *(t a 20%U/hectare)*	193	242
Produção efetiva de biomassa de tronco a 40% de umidade *(t a 40%U/hectare)*	257,3	322,7
Poder calorífico útil da biomassa tronco a 20% umidade *(Mcal/t a 20%U)*	3.352	3.504
Poder calorífico útil da biomassa tronco a 40% umidade *(Mcal/t a 40%U)*	2.364	2.479
Energia primária útil disponível na biomassa tronco a 0% umidade *(Gcal/hectare)*	670,60	878,08
Energia primária útil disponível na biomassa tronco a 20% umidade *(Gcal/hectare)*	646,94	848,00
Energia primária útil disponível na biomassa tronco a 40% umidade *(Gcal/hectare)*	608,25	800,00

Os resultados calculados nas tabelas mostram que a medida que a umidade aumenta na biomassa, aumenta também o seu peso úmido devido à água presente. Entretanto, essa água roubará energia da biomassa, pois consumirá calor para se aquecer e para evaporar nos processos térmicos. Por essa razão, pode-se notar uma gradual redução da energia primária útil que a floresta disponibilizará se for usada com teores crescentes de umidade, aqui nesse caso, calculadas para umidades de 20 e 40%.

Quanto mais seca for a biomassa, maior será a quantidade de energia que ela fornecerá aos usuários.

Os dados dessa última tabela permitem também se estimar quanto de calor/energia a água consumirá por tonelada para se aquecer e evaporar. Vamos usar para os cálculos uma das madeiras, por exemplo, a de *E.urograndis*, que passou em um dos casos estudados, de 0% de umidade para 20% de umidade.

Nessa transição, o peso de biomassa colhida por hectare aumentou de 154,4 toneladas para 193 toneladas. A diferença entre esses dois pesos foi o peso de água adicionado para mudança do teor de umidade de 0% para 20%, ou seja, um peso de água de 38,6 toneladas por hectare. Na mesma transição, o valor de energia primária útil da floresta por cada hectare foi reduzido de 670,6 Gcal para 646,94 Gcal, ou seja, uma redução de 23,66 Gcal.

Do exposto, temos que 38,6 toneladas de água consumiram 23,66 Gcal de energia, o que dá um valor aproximado de 612 Mcal/tonelada de água. Muito próximo do valor obtido anteriormente em outra seção desse capítulo, que foi de 600 Mcal/tonelada de água (ou 600 kcal/kg de água). Essa diferença pequena (12 Mcal/t) entre os dois valores foi devido a aproximações em decimais, seguramente.

Tendo em vista esse importante efeito da umidade da biomassa energética, quando se quiser fazer quantificações de potenciais de produção de energia primária na biomassa combustível dessas florestas, que se estimem os valores não apenas em base de peso seco (algo mais téorico), mas também no teor de umidade mais provável de utilização dessa biomassa.

Além disso, deve-se também estimar perdas de biomassa que invariavelmente ocorrem nas florestas, nos transportes, nos manuseios e nas operações das unidades consumidoras dessas biomassas. Caso não se fizer isso, podemos errar muito feio em estimativas de quantificação.

São erros muito comuns encontrados nesse nosso mundão florestal.

==========

PLANTAÇÕES ADENSADAS DE ÁRVORES

Florestas energéticas adensadas são "sistemas florestais orientados para máxima produção de biomassa vegetal arbórea por hectare de efetivo plantio e por isso mesmo, com colheitas em idades jovens das florestas" (entre 2 a 3 anos no caso do eucalipto brasileiro).

A alta produtividade é baseada no aumento da densidade populacional de árvores para máxima ocupação do sítio florestal, desde os primeiros meses de vida do plantio. São em geral plantadas entre 3.333 a 6.667 árvores por hectare o que fornece a cada árvore um espaço vital para crescer de 1,5 a 3 m².

Esses sistemas são também denominados de "Sistemas Florestais de Curta Rotação" (*SRFS - Short Rotation Forest Systems*) e eles têm sido muito estudados e aplicados em países como Estados Unidos, Reino Unido, Costa Rica, Austrália, Nicarágua, Índia, Uruguai e também no Brasil. Infelizmente, o Brasil acabou embarcando nesses sistemas antes de se ter uma base científica quanto à sua sustentabilidade. O fato de ser possível aumentar a produção de biomassa florestal por hectare.ano, mesmo que de pior qualidade, acabou favorecendo esse interesse.

O sonho dos que incentivam esse tipo de silvicultura é obter por longo prazo uma grande quantidade de biomassa vegetal renovável e em pequenos espaços de área e tempo. Eles colocam em uma área florestal um grande número de plantas, que começam a competir de forma selvagem pela luz, água e nutrientes. Com isso, crescem rapidamente em função da intensa competição.

Acontece que as plantas fazem a fotossíntese de forma bastante eficiente e não nos cobram muito pelo uso do gás carbônico e da pouca

água que participa da reação de fotossíntese. Porém, as plantas não produzem apenas glucose. O seu metabolismo é muito mais complexo e elas necessitam de nutrientes minerais para fortalecimento de seus tecidos e para catalisar inúmeras de suas reações metabólicas. As plantas também transpiram muita água para forçar a entrada de seiva bruta mineral pelas raízes e com isso, obter seus nutrientes.

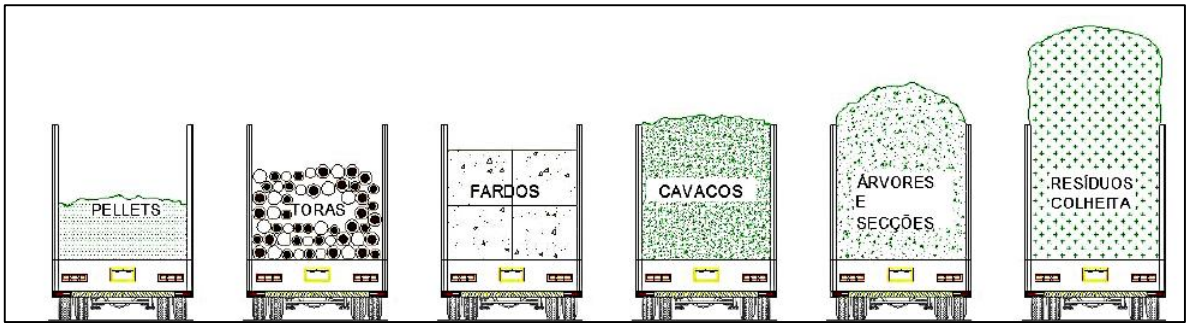
Os resultados dessas práticas metabólicas e fisiológicas pelos vegetais em ambientes com populações concentradas de indivíduos acabam impactando fortemente os solos e os recursos hídricos locais.

Os objetivos principais desses povoamentos florestais adensados são: antecipar receitas pela colheita mais cedo, aumentar a oferta de biomassa vegetal arbórea e lucrar mais com o uso da terra.

Até que as plantações adensadas tentam colaborar para atingimento desses objetivos de seus plantadores, porém elas não conseguem reproduzir a qualidade da biomassa florestal energética produzida por florestas com as densidades populacionais normais, entre 1.111 a 1.667 árvores/hectare. Também não podem garantir que nas rotações seguintes conseguirão manter os mesmos níveis de produtividade.

Os produtos das florestas adensados consistem em misturas variadas de diversos tipos de biomassa arbórea, com predominância de madeira, casca e galharias. Essa irregularidade é contornada convertendo toda essa biomassa mista em cavacos, partículas, péletes ou briquetes.

Cavacos são mais indicados para consumos de bioenergia em curtas distâncias, pois sua densidade energética é baixa (600 a 750 Mcal/tonelada tal qual). Quando a biomassa florestal for produzida para venda distante (exportação, por exemplo), o processo exigirá algum tipo de densificação do material, sendo que os mais comuns produtos densificados são os péletes e os briquetes. A venda de toras também é uma alternativa, mas para povoamentos tradicionais, com toras mais avantajadas em volume e pesos secos.



Fonte: Ceragioli, 2013

Os sistemas florestais adensados exigem altas aplicações e utilizações de insumos (mudas, adubos, água, energia) e possuem custos mais altos por hectare plantado. Também requerem máquinas especializadas para a colheita de árvores menores e em altas concentrações de indivíduos, em especial nas rotações que se seguem ao primeiro corte.

Além dos riscos ambientais, que são facilmente identificados, um problema adicional seria a alta fragilidade em relação aos mercados consumidores de bioenergia. Os plantadores de florestas adensadas não possuem flexibilidade alguma, pois "elas não podem ficar esperando o mercado melhorar para vender melhor". Tampouco podem vender as pequenas árvores para outros mercados florestais, quando muito daria para produção de estacas para construção civil e lenha de baixa qualidade.

Ao se atingir a idade de competição extrema, o crescimento das árvores cessa e passa a acontecer inclusive morte de árvores mais dominadas, o que pode reduzir a produção e com certeza, a produtividade.

Muitos estudos aconteceram no Brasil sobre plantações energéticas adensadas durante os anos 80's, com resultados inconsistentes e trazendo inquietudes aos pesquisadores. Balloni e Simões, em trabalho de pesquisa conduzido na ESALQ e publicado em 1980, recomendaram extrema cautela em relação a plantios adensados onde o espaço destinado a cada árvore fosse menor que 3 m³ (densidade populacional de 3.333 árvores/hectare). Suas preocupações se concentravam na qualidade requerida no manejo florestal dessas

florestas, na exportação de nutrientes e na segurança da qualidade ambiental para o sítio florestal no médio e longo prazo.

Por volta de meados da primeira década do atual milênio, diversos pesquisadores passaram a considerar que os fracassos e os temores dos anos 80's se deviam às florestas ainda não clonais e ao baixo nível das tecnologias florestais (mecanização, principalmente) daquela época. Acreditaram que plantações clonais melhoradas e orientadas para plantios adensados poderiam produzir mais biomassa e não impactar tanto o ambiente.

Paralelamente a esses movimentos de retorno dos plantios adensados de árvores, o Brasil passou a viver momentos de redução em precipitações pluviométricas em diversas regiões produtoras de florestas de eucalipto, desde São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Mato Grosso do Sul, Espírito Santo até Bahia, Tocantins, Piauí, etc. Isso forçou a entrada em operação de muitas termelétricas queimando biomassa florestal, carvão mineral, óleo combustível e gás natural, já que a disponibilidade de energia hidrelétrica estava se reduzindo.

Parece então que isso colocou juntas "a fome e a vontade de comer", pois os plantadores de florestas adensadas e os produtores de péletes e briquetes enxergaram o fato como uma possibilidade dourada de fazer dinheiro. Com isso, estudos, pesquisas e implantação de povoamentos florestais adensados começaram a acontecer em praticamente todos os estados acima citados. Alguns para pesquisas acadêmicas, outros para produção comercial de biomassa energética.

Inúmeros debates e calorosas discussões têm acontecido em inúmeros eventos florestais. Algumas empresas tradicionais acabaram embarcando nessa rota de florestas adensadas, porém algumas investiram pesado para logo depois abandonarem a prática, retornando ao que conheciam sobre a eucaliptocultura tradicional e ambientalmente com maior segurança.

Entretanto, ainda existem inúmeros empreendimentos de termelétricas e de produção de péletes fundamentados em plantações adensadas de árvores e que estão em pleno andamento no País. O que mais me preocupa é que não sejam implantados de forma a respeitar as condições mínimas e adequadas de sustentabilidade. Se pelo menos forem florestas certificadas já seria algo melhor, mas muitas sequer o são, pois são de produtores rurais que precisam produzir energia ou resultados econômicos rápidos com suas plantações.

Escrevi diversos artigos sobre muitas dessas minhas preocupações em épocas recentes. O mais lido e celebrado deles foi publicado em 2011, na Eucalyptus Newsletter nº 33, para ser depois reproduzido em diversas outras revistas e publicações, até mesmo internacionais. Esse artigo original eu o disponibilizei como originalmente foi escrito ao final desse capítulo.

Continuo mantendo a mesma posição em relação a esse assunto, pois conheço o comportamento humano e sei que há muita gente responsável, mas há também muitos que não enxergam seu papel e seus compromissos no longo prazo para a saúde ambiental de nosso País e de nossa sociedade.

Eu até mesmo acredito, que se forem colocados esforços de pesquisa sobre os plantios adensados ou semi-adensados de árvores, é bem possível que encontremos formas de plantar com maior produtividade em biomassa arbórea, com mínimos impactos ambientais e resultados econômicos satisfatórios, orientados para o longo prazo.

Por essa razão, vou lhes colocar, sem ordem de importância ou prioridade, os tipos de impactos que essas plantações causam e sobre os quais deveriam ser focadas as pesquisas brasileiras.

Não há, em minha opinião, mais necessidade de se provar que o primeiro ciclo de uma floresta adensada produz em dois a três anos mais biomassa aérea seca em relação a florestas com árvores mais espaçadas e com a mesma idade.

Temos que agora buscar entender coisas mais aprofundadas e relativamente desconhecidas para as plantações adensadas e como reduzir seus efeitos perversos, tais como em:

- Consumos e exportações de nutrientes;
- Evapotranspiração e consumo de água;
- Interceptação de água de chuva pelas copas das árvores;
- Erosão e compactação do solo;
- Decomposição da manta orgânica, oxidação do carbono orgânico do solo e ressecamento dos solos, pela frequente exposição e desnudamento do solo a cada colheita.
- Microbiologia dos solos;

- Remoção potencial de muitas folhas da floresta pela colheita da biomassa aérea, uma fonte de recuperação de nitrogênio orgânico para os solos.

- Biodiversidade vegetal pela redução do sub-bosque que supre de alimentos pássaros, roedores, herbívoros, etc.;

- Qualidade da biomassa, com menor proporção de madeira e altas proporções de galhos e casca;

- Práticas silviculturais específicas ainda pouco estudadas para esse tipo de silvicultura;

- Manejo e condução das brotações em rotações subsequentes à primeira: ainda uma incógnita.

- Qualidade das florestas manejadas por talhadia e condução das brotações (sobrevivência e homogeneidade das árvores, etc.);

- Efeito da extração também de raízes para o solo, para a microvida, etc.;

- Custos elevados de produção. Custos elevados são ameaças claras, pois induzem a simplificações nas operações, que podem ser perigosas e danosas ao meio ambiente.

- Foco exagerado na produtividade em toneladas secas de biomassa por hectare.

- Demanda energética nas operações de plantio, colheita, logística, armazenamento e densificação de materiais volumosos por natureza.

Estudos científicos e muito diálogo e transparência são vitais nesse processo que se iniciou e caminha para um futuro ainda desconhecido. Precisamos ter muita responsabilidade e compromissos de realizar o melhor possível e não focar apenas em máxima produção e extração de biomassa arbórea seca e nada mais.

A silvicultura é apenas parte de uma orquestra global onde as terras, solos e rios fornecem a maior parte das necessidades dos seres

humanos. A eucaliptocultura com florestas adensadas precisa entender e respeitar isso. É mais que óbvio que as plantações adensadas de árvores não poderão ser deslocadas para as regiões de solos mais férteis, pois esses solos têm orientação para a produção de alimentos para uma população crescente e mais exigente. Continuaremos a utilizar solos de baixa fertilidade e isso potencializa nossas responsabilidades em relação a eles, para não os estragar de forma irreversível.

Também existem pontos que precisam ser melhorados em relação à biomassa energética produzida pelos plantios adensados de árvores:

- Densidade básica da madeira;
- Proporção de casca nos troncos;
- Densidade energética da biomassa;
- Uniformidade do poder calorífico e densidade energética;
- Teor de umidade da biomassa;
- Teor de contaminantes, que tende a ser alto na colheita de árvores integrais em sua porção aérea e pior ainda quando incluídas as raízes.
- Custos unitários de produção (R$/tonelada seca de biomassa);
- Margens de contribuição e taxas de retorno para os investimentos em produtos de biomassa energética das plantações adensadas de árvores.

Essas mesmas oportunidades para estudos são fatores que representam claras ameaças à produção de biomassa energética em florestas adensadas, pois a maioria das ações preventivas é causadora de aumentos de custos.

Minha grande preocupação é que os produtores de florestas adensadas de árvores não se preocupem com o longo prazo e foquem apenas na redução de seus custos operacionais e na máxima produtividade atual de suas plantações. Por isso, já escrevi diversas vezes e reafirmo que, se mal praticado e conduzido, esse tipo de

eucaliptocultura pode se constituir em uma perigosa rapinagem de recursos naturais.

Acredito, porém, que existem empresas, produtores rurais e pesquisadores, que são, em sua grande parte, bem-intencionados e desejosos de encontrar soluções para os problemas apontados. Torço para que eles consigam sucesso e que reduzam esses riscos que possam impactar a sustentabilidade das florestas plantadas de eucalipto como um todo, posição que tão duramente foi conquistada e que não pode ser perdida. Caso tenham sucessos, essa alternativa de produção intensa de biomassa florestal pode ajudar ainda mais o setor de base florestal e o de uso de bioenergia a se firmarem como parceiros para um mundo melhor e com menor uso de combustíveis fósseis.

O que muito me preocupa é que o estoque de conhecimentos ainda é baixo para as plantações adensadas e há muitos interessados "apostando muito" na biomassa energética desses plantios adensados. Por isso, espero também que os processos de certificação florestal, a legislação e os processos de licenciamento de florestas adensadas sejam revistos e possam colaborar, mas não impedir, o crescimento do conhecimento e de medidas mitigadoras dos impactos dos mesmos.

De qualquer forma, não é tão simples se encontrar a combinação perfeita entre todos os fatores de produção para as florestas adensadas. Também não podemos nos esquecer, que esses fatores e suas intensidades de uso ou aplicação variarão conforme os tipos de clima, solos e objetivos que se terão para a biomassa a produzir. Tanto é verdade, que diversas empresas líderes em eucaliptocultura no Brasil começaram a plantar florestas com esse gênero em regiões pioneiras nos estados da Bahia, Maranhão, Tocantins e Piauí. Elas tiveram muitas surpresas desagradáveis, pois as práticas silviculturais e os materiais genéticos para essas novas regiões se mostraram muito diferentes em relação àquelas que praticavam em São Paulo, Minas Gerais, ou outras regiões de onde se originavam.

Definitivamente, as coisas não são tão simples na silvicultura como muitos imaginam. Estamos falando de seres vivos (árvores), que os estudiosos e plantadores tentam domar e domesticar, mas todas as árvores respondem muito às qualidades inerentes dos sítios onde serão plantadas (insolação, umidade, déficit hídrico, precipitação, fertilidade do solo, ventos, etc.). Quando esses fatores de produção são pouco conhecidos, quando ainda não temos clones específicos para esses sítios e produtos desejados, quando desconhecemos as relações dos genótipos com o ambiente que ofereceremos às árvores, podemos ter grandes surpresas, na maioria das vezes, negativas.

São essas as razões que levaram muitos plantadores inexperientes de florestas de eucalipto a se decepcionarem com o que tentaram fazer de plantações florestais. Sem conhecimentos, sem experiência, sem bons materiais genéticos e não se dominando as tecnologias, as coisas podem dar muito errado.

Em geral, a maioria dos estudos publicados sobre plantações adensadas de eucaliptos mostram resultados de produção e produtividade para diferentes densidades populacionais e espaçamentos. Até agora, não são muitos os estudos que se aventuraram a buscar conhecimentos mais aprofundados sobre sua sustentabilidade.

Os estudos são geralmente realizados, comparando à uma mesma idade, as plantações de eucaliptos com os seguintes espaçamentos:

Espaçamento (m x m)	**Densidade populacional (Nº plantas/hectare)**	**Área útil por planta (m^2/planta)**
3 x 3	1.111	9
3 x 2	1.667	6
3 x 1,5	2.222	4,5
2 x 2	2.500	4
3 x 1	3.333	3
3 x 0,67	5.000	2
3 x 0,5	6.667	1,5

É óbvio que esse tipo de comparações feito em idades jovens acaba favorecendo as plantações adensadas, quando se medem as produções e produtividades. Afinal, elas ocupam muito mais rapidamente toda a área, atingindo rápidos incrementos correntes. Entretanto, com 3 a 4 anos, já estão perdendo produtividade por causa do excesso de competição de plantas tão próximas umas das outras.

Caso se queira fazer comparações de produtividade entre plantações adensadas e plantações tradicionalmente plantadas em espaçamentos mais abertos, é preciso se fazer isso por prazos mais longos, comparando produções e produtividades em 18 anos, por exemplo, com os seguintes tipos de colheitas e manejos:

- Plantações adensadas: 3 rotações conduzidas de 3 anos cada, reforma aos 9 anos e mais 3 rotações de 3 anos.

- Plantações tradicionais mais abertas (3m x 2m, ou outros modelos com mais de 6 m² por planta): 3 rotações conduzidas de 6 anos cada uma.

Diversos outros modelos de planejamento e condução das plantações podem ser criados e estudados, tanto tecnicamente quanto às viabilidades econômicas. Só assim poderemos ter comparações mais válidas, tanto em produção sustentável de biomassa florestal, como de taxas internas de retorno, valor presente líquido, etc.

Caso se façam comparações em espaços de tempo muito curtos, os resultados não são capazes de mostrar a situação real aos potenciais investidores nesse tipo de eucaliptocultura.

Também existem muitas dúvidas sobre os comportamentos das rotações subsequentes à primeira colheita no caso dos plantios adensados. Existem inquietudes sobre a qualidade das florestas e dos produtos que as novas colheitas oferecerão com florestas tendo as brotações conduzidas. Há poucos estudos em relação a isso, surpreendentemente, pois já se passaram mais de 10 anos de estudos continuados em plantações adensadas de eucaliptos no Brasil.

Apenas para efeitos de comparações sobre as qualidades do que se pode obter das plantações, vejam as distribuições percentuais base peso de matéria seca para os diferentes compartimentos das porções aéreas das biomassas de florestas adensadas e de florestas tradicionais com maiores espaçamentos:

Compartimento das árvores	**Florestas adensadas 24 a 36 meses**	**Florestas tradicionais 72 a 84 meses**
Casca de tronco	8 - 12	6 - 9
Folhas	5 - 7	2 - 4
Galhos/ponteiros	18 - 25	10 - 12
Madeira	60 - 65	75 - 80
Total tronco	70 - 75	80 - 88

Observar que nos espaçamentos adensados, parte significativa da biomassa aérea está presente na forma de galharias e folhas (20 a 30%), sendo que o tronco só representa 70 a 75%. Já no caso das florestas tradicionalmente produzidas no Brasil, o tronco tem muito maior participação na biomassa aérea (80 a 88%), e a madeira de tronco chega a representar 75-80% do peso seco da biomassa arbórea aérea.

Somem-se a esses itens outros importantíssimos como:

- Custos silviculturais de implantação florestal;
- Custos da colheita com elevado número de árvores finas;
- Custos de manuseio e transporte de materiais de baixa densidade (peso seco por unidade de volume);
- Incertezas em relação à manejo e produtividade futura das brotações;
- Qualidade dos produtos energéticos das plantações adensadas;
- E mais os tradicionais e muitas vezes repetidos aspectos ambientais (solo, recursos hídricos, biodiversidade, etc.)

É muita coisa nova a ser estudada nesse novo setor da engenharia florestal no Brasil. Um prato cheio para os pesquisadores. Sabemos que muitos cientistas da UFV – Universidade Federal de Viçosa, da UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", da USP – Universidade de São Paulo, da UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, da UFLA – Universidade Federal de Lavras e tantas outras universidades no Brasil estão colaborando para fornecimento de suporte técnico e científico aos interessados nesse tipo de eucaliptocultura. Desejo sinceramente sucesso, pois nada melhor do que se adicionar ciência e conhecimento nessa tecnologia onde as dúvidas são inúmeras.

UMA SUGESTÃO DE ALTERNATIVA DE FLORESTA SEMI-ADENSADA PARA INVESTIGAÇÃO DE VIABILIDADE TÉCNICA E AMBIENTAL

A leitura de inúmeros textos de diversos autores nacionais e latino-americanos e minhas reflexões sobre as plantações adensadas de árvores me permitiu entender mais e melhor os prós e os contras desses tipos de sistemas florestais. Minha mente passou a navegar com intensidade e livremente nesses temas e me senti estimulado a sugerir que as pesquisas sobre plantações energéticas adensadas acontecessem gradualmente, passando inicialmente por alguns tipos de sistemas semi-adensados, por exemplo, com plantios de 2.222 árvores por hectare, em espaçamento 3m x 1,5m (ou seja - 4,5 m² por árvore). Essa densidade populacional é apenas ligeiramente superior às 1.667 árvores por hectare, hoje de domínio público no Brasil e em muitos outros países.

A partir dos conhecimentos que possam ser desenvolvidos com esses estudos, talvez se possam encurtar as rotações para 4 a 5 anos e não 2 a 3, como atualmente proposto. Também se conseguiriam melhores valores de densidade básica na madeira e maiores proporções de tronco e de madeira na biomassa aérea das florestas. Um exemplo desse tipo de sistema já foi apresentado anteriormente e comparado a sistemas mais e menos adensados, com resultados interessantes.

Essa densidade proposta não é muito diferente das incialmente adotadas pela eucaliptocultura no Brasil, quando Navarro de Andrade gostava de sugerir alguns espaçamentos, dentre eles, o de 2m x 2m, com densidades populacionais de 2.500 plantas/hectare.

Com populações de 2.222 a 2.500 árvores por hectare, acredito que tanto o produtor florestal como os estudiosos em bioenergia teriam mais margens técnicas e ambientais para irem aperfeiçoando seus sistemas florestais, com ganhos mais seguros em resultados econômicos, ambientais e sociais.

Como o espaçamento interfere na idade da colheita e na intensidade de competição entre as árvores, seria mais fácil de estudar esses tipos de florestas, que chamarei de semi-adensadas, para entender melhor as suas relações ambientais e florestais. Com certeza, os níveis de impactos seriam menores e mais fáceis de serem controlados e mitigados.

Além do mais, as árvores colhidas com 4 a 5 anos nas situações brasileiras, teriam volumes individuais superiores às dos plantios tipicamente adensados. Elas permitiriam ganhos nas operações de plantio, colheita, manejo de brotações, etc. Também possibilitariam produtos que poderiam ser vendidos para outras finalidades além da bioenergia, se fosse assim necessário.

Não estaríamos mais falando em colheitas de árvores com 24 a 36 meses e sim de árvores com 48 a 60 meses, o que tem enorme relevância para reduzir as ações antrópicas nos ecossistemas florestais.

A condução das brotações seria também muito facilitada, podendo com maior facilidade se recuperar nas rotações seguintes o número original de árvores, sem grandes confusões pelos paliteiros que os técnicos costumam encontrar em florestas muito adensadas. Isso acontece porque as brotações só acontecem com alguns meses após a colheita. Em situações de rotações muito curtas (2 anos), quando se chega o momento de desbrotar as cepas, está quase próximo ao momento de se colher a floresta. Também existe muita perda de biomassa dos brotos removidos e deixados sobre o solo – pelo menos eles podem ser reintegrados ao solo pela sua decomposição, melhorando a ciclagem de nutrientes.

Para mim, essa rota alternativa de plantios semi-adensados é muito interessante e até atrativa para ser mais pesquisada, pois se poderiam atingir mais facilmente boas produtividades em biomassa arbórea e maiores níveis de sustentabilidade nas florestas energéticas formadas. Mesmo que se produzam menores quantidades de biomassa seca em termos de peso seco de parte aérea das árvores, essa biomassa seria de melhor qualidade e os custos envolvidos nas operações seriam menores.

Existem ainda alternativas que poderiam ser derivadas a partir dessas plantações semi-adensadas:

- Plantações semi-adensadas mistas incluindo eucaliptos e leguminosas arbóreas;

- Integração de plantios adensados a sistemas semi-adensados, com plantação por exemplo de 3.333 árvores por hectare e com desbaste mecânico de 50% das árvores (linha sim, linha não) aos 3 anos. Com isso, ficariam 1.667 árvores para serem colhidas aos 7 anos – como se fosse uma plantação tradicional e menos impactante sobre o solo. Isso não excluiria de maneira alguma as necessidades de monitoramento da fertilidade e qualidade dos solos e recursos hídricos, para minimização dos efeitos da fase adensada do povoamento.

Coloco aqui essas sugestões para pesquisas e estudos com a finalidade de tentar mostrar rotas alternativas, que talvez possam ter bons desempenhos em termos de produção de biomassa seca e mais respeitosas ao meio ambiente florestal.

Florestas energéticas com manejo das brotações (Adaptado de Aleixo, 2009)

ALGUNS PROBLEMAS E CÁLCULOS PRÁTICOS SOBRE BIOENERGIA DA MADEIRA DO EUCALIPTO

Problema 01:

Em um experimento acadêmico se procurou determinar o rendimento na conversão da madeira de eucalipto para carvão vegetal. Para isso, um forno experimental para carvoejamento foi carregado com 2 toneladas de madeira de eucalipto com 30% de umidade. O poder calorífico útil dessa madeira no nível de umidade mencionado foi determinado em bomba calorimétrica como sendo de 3.000 Mcal/tonelada tal qual. A quantidade produzida de carvão vegetal foi de 550 quilogramas em base absolutamente seca. O poder calorífico inferior desse carvão vegetal foi medido na mesma bomba calorimétrica e encontrado como sendo 7.500 Mcal/tonelada absolutamente seca. Calcular os rendimentos nessa conversão em base de peso seco e em base energética.

Solução:

Base referencial: 2 toneladas de madeira de eucalipto a 30% de umidade
Constituída de:
1,4 toneladas absolutamente secas de madeira
0,6 toneladas de água

Cálculo da quantidade de energia primária na madeira alimentada ao forno de carvoejamento

Poder calorífico útil: 3.000 Mcal/tonelada a 30% de umidade
Quantidade de madeira alimentada: 2 toneladas

Energia primária madeira ingressante forno = (2 t) x (3.000 Mcal/t)
Energia primária madeira ingressante forno = 6.000 Mcal

Resultados em produção de carvão:

550 kg carvão vegetal seco = 0,55 toneladas secas
Poder calorífico inferior do carvão base seca: 7.500 Mcal/t

Energia disponível no carvão saindo forno = (0,55 t) . (7.500 Mcal/t)
Energia disponível no carvão saindo forno = 4.125 Mcal

Cálculo de rendimentos:

Rendimento base peso seco =
[(Peso seco carvão produzido) : (Peso seco madeira alimentada)] . 100
[(0,55 t) : (1,4 t)] . 100 = **39,3%**

Rendimento energético =
[(Energia disponível carvão) : (Energia alimentada ao forno)] . 100
[(4.125 Mcal) : (6.000 Mcal)] . 100 = **68,75%**

Problema 02:

Um plantio semi-adensado de eucalipto foi originalmente instalado no espaçamento 3m x 1,5m (4,5 m²/planta) para ser colhido aos 4 anos de idade. A produtividade da plantação foi determinada como sendo de 25 toneladas de biomassa absolutamente seca por hectare.ano. Por biomassa seca entende-se madeira de fuste, casca, ponteiros com galhos e algumas folhas. No momento da colheita a umidade média do material de biomassa era de 55%, entretanto a empresa compradora dessa biomassa paga a biomassa com base a um teor de umidade de 10%, que seria a umidade média dos briquetes que serão produzidos com essa biomassa energética. Para finalidades de pagamentos com colheita e logística, esse material é também medido em termos de volume de biomassa empilhada no momento da colheita e o valor médio encontrado tem sido de 0,800 toneladas úmidas por unidade de volume empilhado, ou por metro cúbico estéreo (st).
Perguntam-se:

1. Qual a produção estimada da plantação em toneladas de biomassa equivalente a 55% e a 10% de umidade?
2. Qual o peso de biomassa equivalente a 10% de umidade para cada metro cúbico estéreo produzido nessas condições?
3. Quantos estéreos de biomassa são requeridos para se obter uma tonelada de biomassa a 10% de umidade?

Solução:

Bases referenciais: Um hectare de plantação adensada e um estéreo de biomassa úmida

Cálculo da produção por hectare de biomassa energética no momento da colheita:
Produção de biomassa seca =
(Idade de corte, em anos) . (Produtividade anual, em t secas/ha.ano)
(4 anos) . (25 t secas/ha.ano) = **100 t secas/hectare**

Produção de biomassa a 55% de umidade (ou 45% de percentual seco)
(Peso seco/hectare) : [(Percentual de secos)/100] =
(100 t secas/hectare) : [(45)/100] =
222,22 toneladas a 55% de umidade/hectare

Produção de biomassa a 10% de umidade (ou 90% de percentual seco)
(Peso seco/hectare) : [(Percentual de secos)/100] =
(100 t secas/hectare) : [(90)/100] =
111,11 toneladas a 10% umidade/hectare (Valor de comercialização)

<u>Cálculo do peso em biomassa equivalente a 10% de umidade para cada estéreo (st) de biomassa empilhada:</u>
Peso úmido de um estéreo a 55% de umidade = 0,8 toneladas

Peso absolutamente seco de um estéreo = (0,8 t úmidas) . [0,45 t secas/t úmida a 55% de umidade) = 0,36 t absolutamente secas

Peso equivalente de um estéreo de biomassa na umidade de 10% (90% de teor de secos) =
(0,36 t absolutamente secas) : (0,90 t secas/t úmida 10% umidade) =
0,4 t a 10% de umidade/metro cúbico estéreo

<u>Cálculo do número requerido de estéreos para se obter uma tonelada de biomassa a 10% de umidade:</u>
Peso biomassa 10% umidade por estéreo de biomassa = 0,4 t/st

0,4 t úmidas a 10% umidade ---------- 1 estéreo
1 toneladas a 10% umidade ---------- X

X = **2,5 st/t biomassa a 10% de umidade**

Problema 03:

A biomassa energética consumida por uma fábrica de celulose é resultante da mistura de casca das árvores e de cavacos rejeitados na classificação de cavacos. A participação de cavacos de madeira e casca em termos de peso tal qual é de 30% e 70%. Calcular a proporção em base energética, sabendo que nas umidades médias de cada tipo de biomassa, os poderes caloríficos são:
Casca = 9 GJ/tonelada tal qual;
Cavacos de madeira = 14 GJ/tonelada tal qual

Solução:

Base de referencial: 100 toneladas tais quais de biomassa energética

Constituída de:
70 toneladas de casca
30 toneladas de madeira

Cálculo da energia disponibilizada:
Casca = 70 t . 9 GJ/t = 630 GJ
Madeira = 30 t . 14 GJ/t = 420 GJ
Total de energia = 630 + 420 = **1.050 GJ/100 toneladas biomassa**

Participações na energia:
Casca = (630 / 1050) . 100 = **60% para casca**
Madeira = (420 / 1050) . 100 = **40% para madeira**

Apesar de participar com 30% do peso, a madeira corresponde a 40% do valor energético das fontes consumidas.

Problema 04:

Calcular a densidade energética de uma biomassa energética mista entre casca de eucalipto e cavacos de madeira que apresenta as seguintes características:
Densidade a granel base úmida: 260 kg/m³
Poder calorífico inferior da biomassa mista na umidade de uso: 12 GJ/tonelada tal qual

Solução:

A densidade energética está aqui considerada como sendo a quantidade que cada unidade de volume de biomassa leva em energia, na forma como ela é enviada para queima. Em nosso caso, cada metro cúbico da biomassa energética possuía 260 kg e o poder calorífico estimado era de 12 GJ/t tal qual.
Logo, a densidade energética será:

0,26 t/m³ . 12 GJ/t = **3,12 GJ/m³**

Ou seja, cada metro cúbico dessa biomassa leva para a unidade de combustão uma energia total de 3,12 GJ.

Problema 05:

Um picador de casca energética consegue processar por dia cerca de 500 toneladas de material na consistência em que se encontra o mesmo (70%). Essa casca tem 10% de contaminação base peso seco com fragmentos de madeira que são devido a toretes que se quebram no descascador a tambor. Sabendo que a eficiência de descascamento no tambor é de 85% de remoção de casca e que em média a casca representa 8% base peso seco do peso das toras, deseja-se conhecer a quantidade de toras que é alimentada por dia ao descascador. Densidade aparente base seca das toras, como recebidas imediatamente antes do envio ao descascador é de 500 kg a.s./m³.

Solução:

Base referencial = Um dia de operações

Peso seco de biomassa picada por dia: 500 t . 0,7 = 350 t a.s./dia

Madeira na biomassa = 10% de 350 t = 0,10 . 350 = 35 t a.s./dia
Casca na biomassa = 350 – 35 = **315 t a.s./dia**

Saída de casca do descascador = 315 t secas/dia

Entrada de casca no descascador admitindo 85% de remoção de casca = 315 / 0,85 = 370,6 t secas de casca entrando no descascador

Por outro lado – as toras continham 370,6 toneladas secas de casca e a casca representava 8% do peso seco das toras:

100 toneladas a.s. toras ---------- 8 toneladas a.s. de casca

X ---------- 370,6 t a.s. casca

X = 4.632,5 toneladas absolutamente secas de toras

Tendo a densidade aparente dessas toras, como sendo igual a 500 kg a.s./m³ - ou 0,5 t a.s./m³, torna-se possível se calcular o volume de toras diariamente recebido pela unidade:

1 m³ ---------- 0,5 toneladas a.s.

Y ---------- 4.632,5 toneladas a.s.

Y = **9.265 m³ de toras com casca por dia**

Problema 06:

Dois picadores de toras produzem por mês 250.000 metros cúbicos de cavacos, sendo que a densidade a granel base seca dos mesmos é de 175 kg a.s./m³ de cavacos. Desse volume total, são consumidos 75% pelo digestor kraft e o restante pela caldeira de biomassa. Os cavacos do processo celulose são classificados e se removem mais 5% de seu peso (serragem, lascas e cavacos sobre-espessos), que são misturados aos cavacos energéticos para envio à caldeira de força. A mistura de cavacos energéticos tem uma umidade média de 25% e seu poder calorífico é de 14 GJ/t tal qual. Qual a energia total disponibilizada pelos cavacos energéticos por mês operacional?

Solução:

Base referencial: Um mês de operações

Peso seco total cavacos no mês:

250.000 m³ . 175 kg a.s./m³ = 43.750.000 kg = 43.750 toneladas absolutamente secas

Repartição dos cavacos:

75% Cavacos (Processo Celulose) = 32.812,5 t absolutamente secas
25% Cavacos (Energia) = 10.937,5 t absolutamente secas

Cavacos rejeitados do processo celulose (5%): 0,05 . 32.812,5
Cavacos rejeitados do processo celulose (5%): 1.640,625 t a.s.

Total de cavacos energéticos = 10.937,5 + 1.640,625 =
Total de cavacos energéticos = 12.578,125 t a.s./mês

Total de cavacos energéticos base úmida (75% consistência):

100 toneladas úmidas ---------- 75 toneladas a.s.
X ---------- 12.578,125 t a.s.

X = **16.770,83 toneladas úmidas de cavacos energéticos**

Cálculo da energia disponibilizada pelos cavacos por mês:

1 tonelada úmida de cavacos ---------- 14 GJ

16.770,83 toneladas úmidas ---------- Z

Z = **234.791,6 GJ** de energia disponibilizada pelos cavacos energéticos por mês

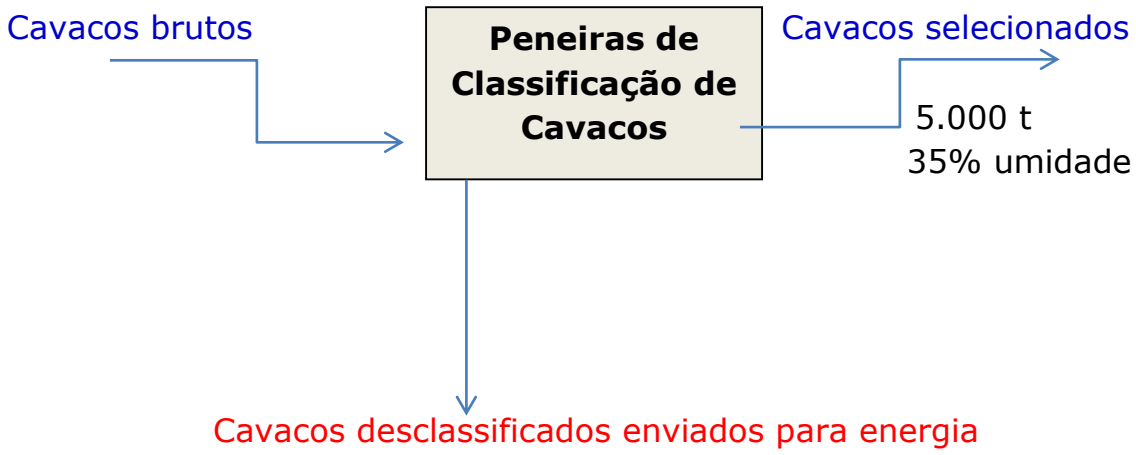
---

Problema 07:

Duas pilhas de cavacos abastecem duas linhas de classificação de cavacos antes do envio dos cavacos ao digestor. Os rejeitos (lascas, sobre-espessos, serragem e palitos de madeira) são separados e enviados para queima como biomassa energética. A proporção de cavacos desclassificados removidos é de 5% base peso seco. O digestor recebe diariamente 5.000 toneladas de cavacos na umidade de 35%, medidos por uma balança localizada na esteira de alimentação dos cavacos. Deseja-se conhecer a quantidade base seca de cavacos desclassificados que se remove para envio à pilha de biomassa energética.

Solução:

Base referencial: Um dia operacional



Cavacos selecionados: 5.000 toneladas úmidas (a 65% consistência)
Cavacos selecionados: 5.000 . 0,65 = 3.250 toneladas secas

Esses cavacos aceitos correspondem a 95% dos cavacos brutos, pois os outros 5% foram separados como cavacos energéticos:

Cavacos brutos (ainda não classificados):

100 t brutos ---------- 95 t a.s. aceitas de cavacos
X ---------- 3250 t a.s. aceitas

X = **3.421 toneladas a.s. cavacos brutos**

Cavacos energéticos = 3421 – 3250 =

Cavacos energéticos = **171 toneladas absolutamente secas de cavacos energéticos por dia operacional**

Problema 08:

Qual das biomassas abaixo possui maior densidade energética, expressa como GJ/volume de material empilhado? Qual a relação energética entre esses três materiais, base unidade de volume de material empilhado?
Sabe-se que as três biomassas possuem as seguintes características:

Cavacos de madeira de eucalipto:
Densidade a granel dos cavacos: 300 kg tais quais/m³ de cavacos
Poder calorífico inferior dos cavacos na umidade em que recebidos: 12 GJ/tonelada tal qual

Lenha de madeira de eucalipto:
Peso do estéreo de madeira: 450 kg tais quais/st de lenha
Poder calorífico inferior da lenha na umidade em que recebida: 15 GJ/tonelada tal qual de madeira

Briquete de madeira de eucalipto:
Peso do estéreo de briquete: 800 toneladas tais quais/st de briquete
Poder calorífico inferior dos briquetes na umidade em que recebidos: 18 GJ/tonelada tal qual.

Solução:

Cavacos de madeira de eucalipto:
Densidade a granel dos cavacos: 300 kg tais quais/m³ de cavacos
Poder calorífico inferior dos cavacos na umidade em que recebidos: 12 GJ/tonelada tal qual

Densidade energética dos cavacos base material empilhado:

0,3 toneladas/m³ x 12 GJ/tonelada = **3,6 GJ/m³ de cavacos**

Lenha de madeira de eucalipto:
Peso do estéreo de madeira: 450 kg tais quais/st de lenha
Poder calorífico inferior da lenha na umidade em que recebida: 15 GJ/tonelada tal qual de lenha de madeira

Densidade energética da lenha de eucalipto base material empilhado:

0,45 toneladas/st x 15 GJ/tonelada = **6,75 GJ/st de lenha**

Briquete de madeira de eucalipto:

Peso do estéreo de briquete: 800 kg tais quais/st de briquete
Poder calorífico inferior dos briquetes na umidade em que recebidos: 18 GJ/tonelada tal qual

Densidade energética dos briquetes de eucalipto base material empilhado:

0,80 toneladas/st x 18 GJ/tonelada = **14,4 GJ/st de briquete**

Relações energéticas entre os materiais, considerando os cavacos como sendo a unidade referencial:

Briquete	**:**	**Lenha**	**:**	**Cavacos**
4	**:**	**1,88**	**:**	**1**

O briquete foi o material com maior quantidade de energia por volume de material empilhado.

Problema 09:

Qual a área de efetivo plantio que uma empresa de base florestal deve possuir para conseguir suprir integralmente o abastecimento de uma usina térmica (caldeira de biomassa) que produz vapor superaquecido, sendo conhecidos os seguintes dados:

- Sobre a usina térmica - Caldeira de biomassa:

Produção nominal de vapor superaquecido = 100 t/hora
Vapor: 450ºC de temperatura e 75 Bar de pressão absoluta
Entalpia do vapor: 784 Mcal/t de vapor
Temperatura da água de alimentação da caldeira: 70ºC
Entalpia da água de alimentação: 70 Mcal/t
Rendimento térmico da caldeira: 75% para conversão da biomassa em vapor nessas condições de entalpia
Eficiência de produção (percentual da capacidade nominal teórica que é efetivamente produzida em eletricidade) = 95%

- Sobre a floresta plantada de eucalipto:

Produtividade florestal em toneladas secas/hectare.ano = 20
Idade de corte: 7 anos
Poder calorífico inferior da biomassa seca (madeira + casca) = 4.300 Mcal/tonelada
Perdas de biomassa na colheita, transporte e na usina térmica: 4%
Umidade da biomassa no momento da alimentação da caldeira: 30%

- Observação:

Adotar a fórmula do professor José Otávio Brito (1993) para se determinar o poder calorífico útil da biomassa a 30% de umidade:

$$\mathbf{PCUtil = PCI \times [(100 - U)/100] - 6U}$$

Onde:

U = Teor percentual de umidade base peso úmido = 30%

PCI = Poder Calorífico Inferior (Mcal/t seca)

PCUtil = Poder Calorífico Útil na umidade a 30% (Mcal/t a 30%)

Solução:

Base referencial: Um ano de produção da usina térmica

Cálculo da produção efetiva de vapor por ano, com 95% de utilização da carga nominal

Qvapor = [(100 t/hora) . (24 h/dia) . (365 d/ano)] . 0,95 =
Qvapor = **832.200 t vapor/ano**

Cálculo da quantidade efetiva de calor agregado por tonelada de água até sua conversão a vapor nas condições do problema:

Qcalor unitário = (Entalpia do vapor/t) – (Entalpia da água/t)
Qcalor unitário = 784 – 70
Qcalor unitário = **714 Mcal/t de vapor**

Admite-se aqui que a água de alimentação consiste de água aquecida com calor recuperado de outras unidades da fábrica, tendo sua temperatura subido de aproximadamente 25ºC até 70ºC com uso de outros calores a ela disponibilizados e por retorno de condensados de vapor vivo.

Cálculo da quantidade total de calor agregado à água para produção de vapor por ano:

Qtotal = (714 Mcal/t de vapor) . (832.200 t vapor/ano)
Qtotal = **594.191 Gcal/ano**

Cálculo da quantidade total de energia primária da biomassa que deve ser fornecida à caldeira com 75% de rendimento térmico:

Qenergia = (594.191 Gcal/ano) : 0,75 =
Qenergia = **792.254 Gcal/ano**

Essa será a energia a ser suprida pela biomassa energética que vai alimentar a usina térmica.

Cálculo do poder calorífico útil da biomassa através da fórmula do professor Brito:

PCUtil = PCI x [(100 – U)/100] – 6U

PCUtil = 4.300 x [(100 – 30)/100] – 6 . 30

PCUtil = 2.830 Mcal/tonelada biomassa a 30% =

PCUtil = **2,830 Gcal/tonelada biomassa a 30%**

Cálculo da quantidade total de biomassa a 30% de umidade para suprir essa necessidade energética ao longo de um ano de operações:

Peso de biomassa a 30% umidade/ano =

(Qenergia) : (PCUtil) = (792.254 Gcal/ano) : (2,83 Gcal/t 30%)

Peso de biomassa a 30% umidade/ano = **279.948 t biomassa a 30% de umidade**

Produção de biomassa efetiva a 30% de umidade por um hectare de floresta no momento da colheita aos 7 anos:

Produção biomassa seca = (20 t/hectare.ano) . (7 anos) = 140 t secas/hectare colhido

Produção de biomassa equivalente a 30% de umidade/hectare =
(140 t secas/hectare) : 0,7 = 200 toneladas de biomassa aos 7 anos com 30% de umidade e 70% de secos por hectare colhido

Oferta de biomassa efetiva por hectare em função de 4% de perdas de biomassa no processamento e logística:

(200 toneladas de biomassa) . 0,96 =
192 toneladas de biomassa equivalente a 30% de umidade por hectare colhido aos 7 anos

Cálculo da área a ser colhida anualmente:

(279.948 t biomassa a 30% de umidade) : (192 t biomassa a 30% de umidade por hectare) =

= 1.458 hectares de florestas energéticas por ano

Para uma rotação de 7 anos, a área total de efetivo plantio deverá ser igual a:

(1.458 hectares de florestas energéticas/ano) . (7 anos) =

10.206 hectares totais de efetivo plantio

Como dado prático desses cálculos se obtém um índice de praticamente 3 toneladas desse tipo vapor sendo produzido por tonelada de biomassa a 30% de umidade.

(832.200 t vapor/ano) : (279.948 t biomassa a 30% de umidade) =

2,97 t vapor/tonelada de biomassa a 30%

Problema 10:

Calcular a relação aproximada e efetiva (líquida) que possa ser considerada ao se avaliar o potencial energético de uma biomassa lenhosa a 30% de umidade em relação ao óleo combustível derivado do petróleo. O objetivo da avaliação deve substanciar a substituição de uma caldeira a óleo (combustível fóssil) por uma caldeira a biomassa (combustível renovável). Admitir que:

- O poder calorífico útil do óleo combustível foi medido como sendo de 9.800 Mcal/tonelada e a eficiência energética da caldeira que vai queimá-lo para geração de energia na forma de vapor é de 94%
- O poder calorífico da biomassa lenhosa na forma de cavacos de madeira é de 2.900 Mcal/tonelada de biomassa a 30% de umidade e a eficiência energética da caldeira será de 88%.

Considerando essa mesma biomassa a 30% de umidade, criar também um fator de conversão que relacione (peso de óleo combustível) e (peso seco de biomassa), tendo como base a mesma quantidade de energia disponibilizada como vapor ao processo e obtido da operação das caldeiras mencionadas.

Solução:

Base referencial: Uma tonelada de óleo combustível

Cálculo da quantidade de energia produzida na forma de vapor pela caldeira de força movida pela alimentação de óleo combustível:

(1 tonelada de óleo) . (Poder calorífico útil óleo) . (Eficiência energética da caldeira de força) =
(1 t) . (9.800 Mcal/t) . 0,94 =
9.212 Mcal úteis na forma de vapor/t óleo

Cálculo da quantidade de energia produzida na forma de vapor pela caldeira de biomassa alimentada com cavacos de madeira a 30% de umidade:

(1 tonelada de biomassa a 30% umidade) . (Poder calorífico útil biomassa) . (Eficiência energética da caldeira de biomassa) =
(1 t) . (2.900 Mcal/t) . 0,88 =
2.552 Mcal úteis na forma de vapor/t biomassa

Cálculo da relação base peso entre o óleo combustível e a biomassa a 30% de umidade para mesma geração energética:

(9.212 Mcal úteis na forma de vapor/t óleo) : (2.552 Mcal úteis na forma de vapor/t biomassa) =
3,61 toneladas de biomassa a 30% umidade/tonelada de óleo combustível
Ou, inversamente:
0,277 toneladas de óleo combustível / tonelada de biomassa a 30% de umidade

Cálculo do fator de conversão entre o peso seco de biomassa dessa biomassa a 30% de umidade e o peso óleo combustível para mesma geração energética:

[(3,61 toneladas de biomassa a 30% umidade) . 0,7] / (tonelada de óleo combustível) =

2,527 toneladas de biomassa absolutamente seca presente na biomassa alimentada à caldeira / tonelada de óleo combustível
Ou, inversamente:
0,396 toneladas de óleo combustível por tonelada de biomassa seca equivalente à biomassa a 30% de umidade

Esse fator tem muita validade prática, pois o produtor florestal sabe que ele pode eventualmente vender a sua floresta através de um cálculo matemático que converta o peso de biomassa a peso de óleo combustível equivalente (a chamada equivalência energética da biomassa em termos de óleo combustível)

O produtor florestal pode assim, com base na produtividade volumétrica de sua floresta plantada para finalidades energéticas e na densidade básica média da biomassa, estimar a produção equivalente em peso seco de biomassa energética e em quanto de óleo combustível essa biomassa estará equivalendo.

==========

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Meu propósito com esse primeiro capítulo da série sobre uso energético da biomassa florestal dos eucaliptos foram os seguintes:

- Debater conceitos básicos e fundamentais sobre a produção de biomassa florestal arbórea de boa qualidade a partir de florestas energéticas de eucaliptos;

- Explicar detalhadamente os principais cálculos numéricos que se fazem necessários para estimar potenciais de produção de biomassa energética em valores equivalentes a energia;

- Discutir detalhes do que é importante em termos de qualidade da biomassa energética;

- Alertar sobre possíveis problemas que possam surgir com a utilização indiscriminada de terras para a produção de bioenergia de forma irracional e sem adequados princípios de sustentabilidade;

- Sugerir alternativas para novas pesquisas em rotas que possam produzir de forma mais ecoeficiente essa biomassa florestal energética.

Sumarizando muito do que escrevi até agora nesse capítulo, ouso, mesmo sabendo que estarei sendo repetitivo em muitos pontos, sugerir alguns temas vitais para que os leitores possam refletir, agir, estudar e pesquisar mais sobre essa produção e utilização de fontes renováveis de bioenergia florestal. São eles:

- Equilibrar a exportação, a ciclagem e o resgate/restituição de nutrientes na produção florestal de bioenergia para evitar o empobrecimento do solo florestal;

- Focar a qualidade do sítio florestal como um ente vivo que merece respeito (solo, recursos hídricos, microvida, biodiversidade, etc.)

- Utilizar com ecoeficiência e consumir com consciência os recursos naturais;

- Enfatizar a eficiência energética na produção florestal;

- Integrar a produção de biomassa energética a outros tipos e usos para a biomassa florestal;

- Valorizar a biomassa florestal plantada como fonte renovável de energia e de mitigação dos gases de efeito estufa, colaborando assim para maior estabilização do clima no planeta;

- Melhorar continuamente as tecnologias e procedimentos silviculturais, manejo, colheita, produção de genomas melhorados, etc.;

- Respeitar as áreas de terras marginais onde se costuma plantar floresta no Brasil. Não é pelo fato delas terem recebido esse nome de áreas agrícolas marginais, que elas não possuem valor ambiental – pelo contrário, seu valor é inquestionável e merece respeito de todos.

- Colocar esforços para melhor entendimento da hidrologia das florestas adensadas e seus riscos para os recursos hídricos e para as próprias florestas, que costumam ser sensíveis a déficits hídricos.

- Colocar esforços para melhoria da qualidade da biomassa energética florestal: homogeneidade, contaminações, densidade energética, poder calorífico, densidade básica, densidade a granel, etc.;

- Colocar esforços para melhoria da logística com a biomassa florestal (manuseio, estocagem, transporte, etc.);

- Colocar esforços para melhoria da qualidade dos resíduos da colheita;

- Entender melhor as vantagens e desvantagens das principais formas de se apresentar a biomassa florestal: toras de lenha, cavacos, péletes, briquetes, etc.;

- Colocar esforços para maior utilização dos resíduos industriais resultantes do uso da biomassa energética (cinzas volantes e cinzas de fundo de fornalha, condensados e água quente de turbinas de condensação, gases quentes de combustão ou irradiação, resíduos dos processos de limpeza da biomassa, etc.);

- Estudar o uso de outras espécies florestais energéticas em consorciação com os eucaliptos, em especial de leguminosas (gênero *Acacia*, por exemplo);

- Fomentar a formação, fortalecimento e sustentabilidade dos mercados de biomassa energética;

- Incentivar e participar das decisões junto aos poderes públicos para o crescimento das fontes renováveis de energia, dentre as quais as de origem florestal;

- Criar mecanismos para ajudar a disciplinar a oferta/procura de biomassa energética florestal, para evitar os contínuos desbalanceamentos que vêm ocorrendo no setor;

- Colaborar na definição de políticas públicas e industriais para harmonização dos diferentes pontos de vista e criação de incentivos quanto ao uso de bioenergia;

- Colaborar no fortalecimento das vantagens comparativas e competitivas da biomassa energética florestal;

- Colaborar no fortalecimento da sustentabilidade e aspectos socioambientais na produção de biomassa energética florestal;

- Colaborar no fortalecimento da imagem da eucaliptocultura destinada a finalidades de produção de biomassa energética;

- Disciplinar a disposição espacial e geográfica da produção de biomassa energética de origem florestal para melhorar as interações ambientais e mercadológicas;

- Colaborar em estudos e incentivos à produção de biomassa energética florestal por sistemas agroflorestais, colaborando assim para a diversificação dos produtos do agronegócio;

- Fortalecer a inserção das áreas de florestas energéticas em sistemas de mosaicos procurando melhor integração entre agricultura, pecuária, silvicultura e recursos naturais protegidos (áreas de reserva legal e de proteção permanente);

- Etc.

De tudo que procurei expor nesse longo capítulo, acredito que ficam duas conclusões muito simples: *já estudamos muito esse tema de uso energético das florestas dos eucaliptos – porém, há muito mais a se estudar, pesquisar e aprender.*

Por que razão nós (humanos em geral e brasileiros) não somos capazes de nos organizar melhor, juntando as poderosas forças das universidades, institutos de pesquisa, empresas industriais e públicas, poder público e partes interessadas da sociedade para orquestrar isso melhor e de forma mais produtiva e eficiente?

Não adiante a gente ficar reclamando pelos cantos, ou sussurrando nossas inquietudes e ansiedades ao primeiro ombro amigo que encontrar.

Lamentos têm pouca efetividade na construção de um mundo melhor.

Bola prá frente, pessoal.

Aguardo vocês nos próximos dois capítulos dessa série em bioenergia florestal.

Obrigado a todos e desejo de sucessos.

A singela beleza de uma planta jovem de *Corymbia citriodora* que pode se converter em uma fonte de energia renovável da maior significância ambiental

Sustentabilidade é algo que se deve buscar sempre no setor de base florestal plantada – qualquer que seja a destinação dos produtos da floresta...

==========

REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

As literaturas brasileira e mundial são bastante ricas em artigos, eventos, palestras, teses, dissertações, vídeos e outros tipos de materiais técnicos sobre o uso da biomassa florestal para fins energéticos. Trata-se de um tema sempre atual e que tem despertado incontestável aumento de interesse em função dos incentivos e estímulos para a busca de fontes alternativas de energia, que não sejam fósseis e que possam ser renováveis e viabilizadas em custos acessíveis aos produtores e de preços atrativos aos consumidores.

Dessa forma, não foi difícil, mas também não foi fácil pelo excesso de disponibilidades que existem, em selecionar praticamente quatro centenas de referências para servirem de embasamento aos três capítulos sobre biomassa energética que estamos produzindo para lhes oferecer como mais algumas das muitas contribuições técnicas do **Eucalyptus Online Book**. Como esse atual capítulo é o primeiro da série de três, é quase certo que para os outros dois capítulos sejam introduzidas outras referências para se somarem às atuais, complementando ainda mais essa seção de referências técnicas para navegação e leitura.

O assunto é muito vasto e seria possível se escrever uma coleção de livros, mesmo assim, tivemos que repartir o texto em três capítulos, mas a bibliografia será apresentada de forma unificada, frente às

interações e interdependências que existem entre as três partes que compõem os capítulos sobre uso energético da biomassa florestal dos eucaliptos.

Atualmente, existe uma grande expansão nos estudos sobre biomassa energética, já que a nova mania global tem sido acreditar que a biomassa e os biocombustíveis serão a salvação de nossos problemas energéticos em futuro não muito distante. Com isso, a geração de energia a partir de alguns tipos de biomassa no Brasil tem sido um assunto enormemente estudado, principalmente nos casos da biomassa florestal (florestas energéticas e resíduos de madeira) e da cana de açúcar (etanol, bagaço, palha)

Os nossos três capítulos procuraram ter um direcionamento prático e direto, por isso, essa seleção de referências da literatura está mais relacionada ao que procuramos elencar como foco dos temas que foram ou serão abordados, não sendo, portanto, uma busca exaustiva de milhares de publicações, com variadas vertentes tecnológicas.

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 geração de produtos florestais e de energia a partir da madeira, da cana de açúcar e de outros tipos de biomassa florestal e agrícola.

Procurei lhes oferecer também artigos e relatórios mais antigos, publicados da época do início de minha carreira no setor florestal, da década dos 70's e 80's. Os objetivos desses artigos selecionados tanto foram para valorização de alguns estudiosos do tema energia da madeira de épocas passadas, mas também e principalmente, para lhes mostrar que esse tema de biomassa energética já vem sendo muito estudado há algumas décadas. Afinal, o uso da madeira como fonte de energia deve ter-se originado em épocas tão remotas quanto foi a descoberta do fogo pelo ser humano.

Aproveitem então o que lhes trazemos como literatura para vocês lerem e aprenderem mais sobre isso:

BEN – Balanço Energético Nacional. Ministério de Minas e Energia. Acesso em 02.03.2016:

https://ben.epe.gov.br/

Tabelas de vapor online. Steam Tables Online. Acesso em 02.03.2016:

http://www.steamtablesonline.com/steam97web.aspx?lang=pt

Conversor de unidades de energia. Convertworld. Website internacional especializado em conversão de inúmeros tipos de unidades e sistemas de medidas. Acesso em 02.03.2016:

http://www.convertworld.com/pt/energia/

Oportunidades para a energia da madeira. Encontro Brasileiro de Energia da Madeira. Lignum Brasil. Acesso em 02.03.2016:

http://lignumbrasil.com.br/2016/03/oportunidades-para-a-energia-da-madeira/?utm_source=ALLINMAIL&utm_medium=email&utm_content=111828262&utm_campaign=Newsletter_Lignum_-_Edi_o_09_Base_Geral_Repique&utm_term=_.in.yu02bj5.cblt.gbl9m.zt82cs.v2.y.a92cs.v2.y

Curso "Tecnologia de Fabricação de Biocombustíveis". Professor Hanniel Freitas. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Rio Grande do Norte – Brasil. Acesso em 02.03.2016:

http://docente.ifrn.edu.br/hannielfreitas/disciplinas/tecnologia-de-producao-de-biomassa-energetica (Página do curso)

e

http://docente.ifrn.edu.br/hannielfreitas/disciplinas/tecnologia-de-producao-de-biomassa-energetica/Capitulo%201%20-%20Tipos%20e%20as%20Geracoes%20dos%20Biocombustiveis.pdf/at_download/file (Capítulo 1 - Definições, tipos e gerações de biocombustíveis)

e

http://docente.ifrn.edu.br/hannielfreitas/disciplinas/tecnologia-de-producao-de-biomassa-energetica/Capitulo%202%20-%20Florestas%20Energeticas.pdf (Capítulo 2 – Florestas energéticas)

e

https://docente.ifrn.edu.br/hannielfreitas/disciplinas/tecnologia-de-producao-de-biomassa-energetica/estqeuiometria-da-combustao-e-analise-energetica-de-combustiveis (Aula - Combustão: Uma análise estequiométrica)

Projeto Florestas Energéticas. Produção e conversão sustentável de biomassa em energia. Embrapa Florestas. Acesso em 02.03.2016:

https://www.embrapa.br/florestas/busca-de-projetos/-/projeto/202348/florestas-energeticas--producao-e-conversao-sustentavel-de-biomassa-em-energia

e

https://www.embrapa.br/florestas/busca-de-projetos/-/projeto/202630/tecnologias-silviculturais-para-producao-de-florestas-energeticas--tspfenergia

Projeto Silvaplus. Website de organização ibérica destinada ao estudo e promoção de resíduos florestais para utilização energética. Acesso em 02.03.2016:

http://www.silvaplus.com/pt/silvaplus/apresentacao/

e

http://www.silvaplus.com/pt/biomassa-florestal-primaria/publicacoes/ (Publicações)

e

http://www.silvaplus.com/pt/biomassa-florestal-primaria/estudos/ (Estudos)

e

http://www.silvaplus.com/pt/biomassa-florestal-primaria/fichas-tecnicas/ (Fichas técnicas)

Florestas energéticas. Blog do Dr. Moacir Medrado. MCA - Medrado & Consultores Agroflorestais Associados. Acesso em 02.03.2016:

http://florestasenergeticas.blogspot.com.br/

NIPE – Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. Acesso em 02.03.2016:

http://www.nipe.unicamp.br/2013/

e

http://www.nipe.unicamp.br/2013/publicacoes.php

e

http://www.nipe.unicamp.br/2013/eventos.php

Embrapa Agroenergia. Website de centro brasileiro especializado em energia rural. Acesso em 02.03.2016:

https://www.embrapa.br/agroenergia

e

https://www.embrapa.br/agroenergia/publicacoes

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Website de empresa do governo federal brasileiro destinada a estudar recursos energéticos. Acesso em 02.03.2016:

http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx

e

http://www.epe.gov.br/Publicacoes/Paginas/default.aspx (Publicações)

e

http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Estudos_27.aspx (Série "Estudos Energéticos" e "Notas Técnicas")

Laboratório Energia de Biomassa. UFPR – Universidade Federal do Paraná. Acesso em 02.03.2016:

http://www.labenergiabiomassa.ufpr.br/

NEST - Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída. UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá. Acesso em 02.03.2016:

http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/index_pt.html

e

http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/teses/teses_pt.html (Teses e dissertações)

e

http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/downloads/downloads_pt.html (*Downloading's* de documentos)

Curso Geração de Energia Elétrica. A.G.G. Lima. Faculdade de Engenharia. UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Acesso em 02.03.2016:

http://www.antoniolima.web.br.com/default.htm (Website)

e

http://www.antoniolima.web.br.com/arquivos/geraçaotermica.htm (Geração térmica)

NGP - New Generation Plantations Platform. Website de entidade global especializada em promover florestas plantadas e sustentabilidade. Acesso em 02.03.2016:

http://newgenerationplantations.org/pt (Website em Português)

e

http://newgenerationplantations.org/multimedia/file/5e326238-c904-11e5-88e8-005056986313 ("NGP Review 2016" - em Inglês)

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. Website de centro brasileiro especializado em energia da biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://143.107.4.241/quemsomos.htm

e

http://143.107.4.241/download/atlasbiomassa2012.pdf (Atlas de bioenergia do Brasil - 2012)

e

http://143.107.4.241/download/atlas_cenbio.pdf (Atlas de bioenergia do Brasil - 2009)

e

http://infoener.iee.usp.br/cenbio/biomassa.htm

e

http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_lenha.asp (Lenha)

e

http://143.107.4.241/documentos/documentos.htm (Documentos do CENBIO)

Congressos Internacionais de Bioenergia. Porthus Eventos. Website de organização brasileira especializada em eventos florestais e energéticos. Acesso em 02.03.2016:

http://www.bioenergia.net.br/

e

http://www.porthuseventos.com.br/eventos.php

e

http://www.porthuseventos.com.br/site/eventos/2009/eventobioenergia.com.br/congresso/br/palestras.php (Palestras do 4º Congresso – 2009)

Biomass Magazine. Website de revista internacional especializada em biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://biomassmagazine.com/ (em Inglês)

e

http://biomassmagazine.com/tag/power/ ("Geração de força" - em Inglês)

Biomass Power Association. Website de entidade internacional especializada em energia e eletricidade da biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://www.biomasspowerassociation.com/ (em Inglês)

e

http://www.biomasspowerassociation.com/pages/links.php (Publicações, links e recursos tecnológicos - em Inglês)

Biomassaworld. Website de entidade brasileira especializada em biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://www.biomassaworld.com.br/ (Website)

e

http://www.biomassaworld.com.br/videos (Vídeos)

e

http://www.biomassaworld.com.br/artigos-tecnicos/3/biomassa (Artigos sobre biomassa)

e

http://www.biomassaworld.com.br/revistas (Revistas florestais online)

Biomassa BR – Energias Renováveis. Website de entidade brasileira especializada em biomassa energética. Acesso em 02.03.2016:

http://www.biomassabr.com/bio/ (Website institucional)

e

http://www.biomassabr.com/bio/revista.asp (Revista Biomassa BR)

Brasil Biomassa e Energia Renovável. Website de entidade brasileira especializada em biomassa energética. Acesso em 02.03.2016:

http://abibbrasil.wix.com/brasilbiomassa#!biomassa/cu7h

e

http://media.wix.com/ugd/09c803_2921876af45949fc8d83e28b8eff2263.pdf (Revista Brasil Biomassa & Pellets)

Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável. Website de entidade brasileira especializada em energia da biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://www.biomassabioenergia.com.br/

e

https://www.magtab.com/reader/biomassa-bioenergia/15082 (Revista digital)

e

http://abibbrasil.wix.com/abib#!biblioteca/cmil (Revistas e estudos digitais sobre péletes)

e

http://www.ahkbrasilien.com.br/fileadmin/ahk_brasilien/portugiesische_seite/departamentos/Meio_Ambiente/Ecogerma_2015/Celso_Oliveira_-_A_energia_da_biomassa_e_o_potencial_do_Brasil.pdf (Palestra "A energia da biomassa e o potencial do Brasil" – por Celso Oliveira)

ABIPEL – Associação Brasileira das Indústrias de Pellets. Website de entidade brasileira especializada em péletes de biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://www.abipel.com.br/produtos.aspx

e

http://www.abipel.com.br/pellets.aspx (Artigos e textos sobre péletes)

Plataforma EloBiomass. Website brasileiro especializado em negócios com biomassa lignocelulósica. Acesso em 02.03.2016:

http://www.elobiomass.com.br/

Mestrado em Bioenergia - Pós-Graduação *Stricto Sensu.* UNICENTRO – Universidade Estadual do Centro Oeste. Acesso em 02.03.2016:

http://www.unicentro.br/posgraduacao/mestrado/bioenergia/materialdidatico.asp (Material didático - artigos sobre bioenergia, biomassa e florestas energéticas)

e

http://www.unicentro.br/posgraduacao/mestrado/bioenergia/material_didatico/2014/ALEX_IAPAR_Florestas_energeticas_53710c21052fb.pdf (Florestas energéticas - por Alex Carneiro Leal)

LQCE - Laboratórios Integrados de Química, Celulose e Energia. Website de laboratório universitário especializado em estudos e pesquisas sobre bioenergia de base florestal na Universidade de São Paulo. Acesso em 02.03.2016:

http://www.lqce.esalq.usp.br/lqce1.php (Website)

e

http://www.lqce.esalq.usp.br/documentos.php (Documentos técnicos)

e

http://www.lqce.esalq.usp.br/capacitacao.php (Fotos da capacitação laboratorial)

Cavacos do Brasil. Website brasileiro especializado em cavacos de madeira. Acesso em 02.03.2016:

http://www.cavacosbrasil.com.br/

e

http://www.cavacosbrasil.com.br/servicos.php

Biomassa e Bioenergia. Grupo Gessulli. Website brasileiro especializado em biomassas e publicações sobre biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://www.biomassabioenergia.com.br/

e

http://www.biomassabioenergia.com.br/noticia/biomassa

e

http://www.biomassabioenergia.com.br/edicao/12/20151203110622_V_733 (Revista Biomassa e Bioenergia)

Portal Brasileiro de Energias Renováveis. Website brasileiro especializado em energias renováveis. Acesso em 02.03.2016:

http://energiarenovavel.org/

e

http://energiarenovavel.org/index.php?option=com_seyret&Itemid=309 (Vídeos)

World Bioenergy Association. Website de entidade internacional especializada em bioenergia. Acesso em 02.03.2016:

http://www.worldbioenergy.org/ (Website institucional – em Inglês)

e

http://www.worldbioenergy.org/content/wba-fact-sheets ("Fact sheets" – em Inglês)

IEA – Bioenergy. Energy Technology Network. Task 43: Biomass Feedstocks for Energy Markets. Website de entidade internacional especializada em energia da biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://www.ieabioenergytask43.org/ (em Inglês)

e

http://www.ieabioenergytask43.org/wp-content/uploads/2013/09/Brochure_T43_final_-april-27_2011.pdf ("Folder Task 43" - em Inglês)

e

http://www.ieabioenergytask43.org/wp-content/uploads/2013/09/Task_43_Overview_report_2013.pdf ("Task 43 overview paper" – em Inglês)

e

http://www.ieabioenergytask43.org/httpwww-iewp-contentuploads201309cover-tr2014-1-png/ (Relatórios técnicos – em Inglês)

Centro da Biomassa para a Energia. Portugal. Website de instituto português especializado em energia da biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://www.centrodabiomassa.pt/ (Website)

e

http://www.centrodabiomassa.pt/index.php/pt/documentos (Publicações)

SBPE – Sociedade Brasileira de Planejamento Energético. Website de entidade focada em estudos e planejamento da produção, geração e uso da energia. Acesso em 02.03.2016:

http://new.sbpe.org.br/

e

http://new.sbpe.org.br/rbe/ (Revista Brasileira de Energia)

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. Website de instituto brasileiro especializado em eficiência energética. Acesso em 02.03.2016:

http://www.inee.org.br/

e

http://www.inee.org.br/forum_downloads.asp?Cat=gd (*Downloading* de artigos e palestras sobre cogeração e geração distribuída)

e

http://www.inee.org.br/biomassa_downloads.asp?Cat=biomassa (*Downloading* de artigos e palestras sobre bioenergia)

NREL – National Renewable Energy Laboratory. Website de laboratório internacional especializado em energias renováveis. Acesso em 02.03.2016:

http://www.nrel.gov/biomass/ (Biomassa – em Inglês)

e

http://www.nrel.gov/biomass/analytical_procedures.html ("Standard Procedures for Biomass Compositional Analysis" – em Inglês)

Mais Florestas. Website de empresa brasileira especializada em comunicação na base florestal. Acesso em 02.03.2016:

http://www.maisfloresta.com.br/

e

http://www.maisfloresta.com.br/videos (Vídeos)

e

http://www.maisfloresta.com.br/videos/palestras/diversificando-a-propriedade-rural-com-producao-de-eucalipto-para-biomassa-primeira-parte-202.html (Eucalipto para biomassa - Parte 1)

e

http://www.maisfloresta.com.br/videos/palestras/diversificando-a-propriedade-rural-com-producao-de-eucalipto-para-biomassa-segunda-parte-203.html (Eucalipto para biomassa - Parte 2)

e

http://www.maisfloresta.com.br/videos/entrevista/a-produtividade-do-eucalipto-tem-limites-267.html (Produtividade do eucalipto)

FRAMAQ - Biomassa florestal. Website de empresa brasileira especializada em biomassa florestal. Acesso em 02.03.2016:

http://www.fragmaq.com.br/blog/biomassa/biomassa-florestal/

HPB Sistemas de Energia. Website de empresa brasileira especializada em geração de eletricidade. Acesso em 02.03.2016:

http://www.hpb.com.br/

e

http://www.hpb.com.br/produtos/ (Caldeiras)

Solid fuel and biomass handling. Raumaster**.** Website de empresa internacional especializada em manuseio de biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://www.raumaster.fi/en/products/solid-fuel-and-biomass-handling/ (em Inglês)

Bark processing. Andritz. Website de empresa global especializada em pátios de madeira. Acesso em 02.03.2016:

http://www.andritz.com/pp-bark-processing (em Inglês)

Biomass boilers. Andritz. Website de empresa global especializada em caldeiras de biomassa. Acesso em 02.03.2016:

https://www.andritz.com/no-index/pf-detail?productid=11205 (em Inglês)

TGM. Grupo TGM. Website de empresa global especializada em produção e geração de eletricidade. Acesso em 02.03.2016:

http://www.grupotgm.com.br/

e

http://www.grupotgm.com.br/media-center/catalogos-tecnicos/turbinas-a-vapor (Turbinas a vapor)

Preparo e manuseio da madeira. Demuth Wood Handling. Website de empresa brasileira especializada em pátios de madeira e biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://www.demuth.com.br/segmentos/index.php?id=2

Energia. Demuth Energy. Website de empresa brasileira especializada em energia da biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://www.demuth.com.br/segmentos/index.php?id=1

Máquinas Bruno. Website de empresa brasileira especializada em energia da biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://www.bruno.com.br/

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)

Tractebel Energia. Website de empresa brasileira especializada em geração de termeletricidade. Acesso em 02.03.2016:

http://www.tractebelenergia.com.br/wps/portal/internet

e

http://www.tractebelenergia.com.br/wps/portal/internet/parque-gerador/usinas-termeletricas (Usinas termelétricas)

Solução para resíduo florestal. Siebert. Website de empresa especializada em resíduos energéticos. Acesso em 02.03.2016:

http://www.siebert.com.br/tratamento-de-residuos/residuo-florestal-e-casca-de-eucalipto-na-industria/

Equipamentos para tratamento de resíduos. Trituração, compactação e embalagem. Siebert. Website de empresa especializada em resíduos energéticos. Acesso em 02.03.2016:

http://www.siebert.com.br/tratamento-de-residuos/

Trituração da casca do eucalipto. Siebert. Vídeos YouTube. Acesso em 02.03.2016:

https://www.youtube.com/watch?v=4ngZaL6kjaM

Picagem de cascas de eucaliptos e pinus. CRReciclados. Vídeos YouTube. Canal Rafael Arteiro. Acesso em 02.03.2016:

https://www.youtube.com/watch?v=xC4Stt2P30o

ERB – Energias Renováveis do Brasil. Website de empresa brasileira especializada em energias renováveis. Acesso em 02.03.2016:

http://www.erbrasil.com.br/erbrasil/

e

http://www.erbrasil.com.br/erbrasil/projetos/projeto-bahia.php (Projeto de usina termelétrica a base de cavacos de eucalipto na Bahia)

Biomass power and energy systems. Wellons. Website de empresa global especializada em sistemas de energia da biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://www.wellons.com/ (em Inglês)

KMW Energy. Website de empresa global especializada em sistemas de energia da biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://kmwenergy.com/introtobiomass/ (Biomassa – em Inglês)

e

http://kmwenergy.com/energygeneration/ (Geração de energia – em Inglês)

Produtos para biomassa e bioenergia. Saalasti**.** Website de empresa global especializada em sistemas de energia da biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://www.saalasti.fi/pt/products-pt/product-overview-pt/product-overview-pt-2

Bark and biomass handling and storage. Valmet. Website de empresa global especializada em sistemas de preparação da biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://www.valmet.com/products/pulping-and-fiber/wood-handling/bark-and-biomass-handling-and-storage/ (em Inglês)

Biomass boilers. Metso. Website de empresa global especializada em sistemas de geração de energia para as biomassas. Acesso em 02.03.2016:

http://www.metso.com/search-page/#/search/biomass%20boilers (em Inglês)

Biomass low temperature vaccum dryer. Thermal Energy International. Website de empresa global especializada em sistemas de secagem de biomassas. Acesso em 02.03.2016:

http://www.thermalenergy.com/dry-rex-biomass-dryer.html (em Inglês)

Wood chip dryers. Ponndorf GmbH**.** Website de empresa global especializada em sistemas de secagem de biomassas. Acesso em 02.03.2016:

http://www.ponndorf-gmbh.de/index.php/en/wood-chip-dryers (em Inglês)

Sherman Biomass Power Plant in Stayceville, Maine-Video Tour. Niagara. Vídeo de empresa global especializada em sistemas de geração de termeletricidade a partir de biomassas. Acesso em 02.03.2016:

https://www.youtube.com/watch?v=ZgwI5dMlz7U (em Inglês)

Equipalcool Soluções Térmicas. Website de empresa brasileira especializada em geração de termeletricidade. Acesso em 02.03.2016:

http://www.equipalcool.com.br/

e

http://www.equipalcool.com.br/servicos-e-produtos/segmentos/geracao-de-energia/
(Geração de energia elétrica e térmica)

e

http://www.equipalcool.com.br/servicos-e-produtos/segmentos/papel-e-celulose
(Setor de papel e celulose)

e

http://www.equipalcool.com.br/servicos-e-produtos/segmentos/madeireiro (Setor madeireiro)

Biomass Energy Centre. Website de centro internacional especializado em energia da biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=73,1&_dad=portal&_schema=PORTAL (em Inglês)

RENABIO – Rede Nacional de Biomassa para Energia. Website de entidade brasileira especializada em biomassas florestais para energia. Acesso em 02.03.2016:

http://www.renabio.org.br/

e

http://www.renabio.org.br/publicacoes.htm (Publicações da Renabio - Revista Biomassa & Energia)

EnerSilva – Promoción del uso de la biomassa forestal em el suroeste de Europa. Website europeu especializado em energia da biomassa florestal. Acesso em 02.03.2016:

http://enersilva.navegantes.info/biomasa%20forestal%20primaria.php (Website – em Espanhol)

e

http://enersilva.navegantes.info/publicaciones.php
(Publicações – em Espanhol)

e

http://enersilva.navegantes.info/articulos.php (Artigos, trabalhos e publicações – em Espanhol)

Energia da biomassa. Portal São Francisco. Website universitário brasileiro. Acesso em 02.03.2016:

http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/energia-da-biomassa/index.php

Cavacos de madeira. Lippel Equipamentos. Website de empresa brasileira especializada em preparo da madeira. Acesso em 02.03.2016:

http://www.lippel.com.br/br/sustentabilidade/cavacos-de-madeira#.VlNUyO9dFjo

e

http://www.lippel.com.br/br/download#.VuAMXsL2b3h (Downloads de artigos, teses, palestras)

Combustão da biomassa. Lippel Equipamentos. Website de empresa brasileira especializada em energia da biomassa florestal. Acesso em 02.03.2016:

http://www.lippel.com.br/br/sustentabilidade/combustao-da-biomassa#

Produtos Lippel para preparação da biomassa florestal. Lippel Equipamentos. Website de empresa brasileira especializada em energia da biomassa florestal. Acesso em 02.03.2016:

http://www.lippel.com.br/br/#

Secador rotativo para secagem de biomassa. Lippel Equipamentos. Website de empresa brasileira especializada em energia da biomassa florestal. Acesso em 02.03.2016:

http://www.lippel.com.br/br/queimadores-e-secadores-de-biomassa/secador-rotativo/secadores-rotativos-para-biomassa.html#.Vv0dDcL2b3g

Secadores de biomassa. Rohden Termo Engenharia. Website de empresa brasileira especializada em sistemas térmicos para a biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://www.queimadores.ind.br/tecnologia/

e

http://www.queimadores.ind.br/produtos/ (Outros produtos para biomassa florestal)

Terrasource – Equipments for biomass energy. Jeffrey Rader AB. Website de empresa internacional especializada em energia da biomassa. Acesso em 02.03.2016:

http://terrasource.com/equipment/category/all#biomass-energy (em Inglês)

Valorização energética e ambiental. ForestCorte. Landscape, Forestry and Biomass. Website de empresa fornecedora de serviços em valorização energética de resíduos florestais. Acesso em 02.03.2016:

http://www.forestcorte.com/valorizacao/valorizacao-energetica-e-ambiental

e

http://www.forestcorte.com/articles/fornecimento-de-biomassa-a-maior-central-de-producao-de-energia-do-sul-de- (Projeto para ENCE-Espanha)

Encontro Brasileiro de Energia da Madeira. Malinovski Florestal. Página de evento sobre energia da madeira. (2016)

http://www.energiadamadeira.com.br/

Biomassa florestal no Brasil é responsável por geração de riqueza e milhares de empregos. Biomassa BR. Website especializado. Reproduzido por AGEFLOR – Associação Gaúcha de Empresas Florestais. (2016)

http://www.ageflor.com.br/noticias/mercado/biomassa-florestal-no-brasil-e-responsavel-por-geracao-de-riqueza-e-milhares-de-empregos

Biotechnology towards energy crops. T. Margaritopoulou; L. Roka; E. Alexopoulou; M. Christou; S. Rigas; K. Haralampidis; D. Milioni. Molecular Biotechnology 58(3). 10 pp. (2016)

https://www.researchgate.net/publication/291419014_Biotechnology_Towards_Energy_Crops (em Inglês)

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

Thorough characterization of Brazilian new generation of eucalypt clones and grass for pulp production. F.J.B. Gomes; J.L. Colodette; A. Burnet; L.A.R. Batalha; F.A. Santos; I.F. Demuner. International Journal of Forestry Research 2015. 11 pp. (2015)

http://downloads.hindawi.com/journals/ijfr/2015/814071.pdf (em Inglês)

Potencial energético de sete materiais genéticos de *Eucalyptus* cultivados no Estado do Rio de Janeiro. A.F. Dias Júnior; A.M. Andrade; V.W. Soares; D.S. Costa Júnior; D.H.A.A. Ferreira; P.S.S. Leles. Scientia Forestalis 43(108): 833 – 843. (2015)

http://ipef.br/publicacoes/scientia/nr108/cap08.pdf

Quantificação da biomassa florestal em plantios de curta rotação com diferentes espaçamentos. B.O. Caron; E. Eloy; V.Q. Silva; D. Schmidt; R. Balbinot; A. Behling; G.C. Monteiro. Comunicata Scientia 6(1): 106 – 112. (2015)

http://comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/viewFile/464/309

ISO 13065:2015 Sustainability criteria for bioenergy. ISO – International Organization for Standardization. (2015)

https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:13065:ed-1:v1:en (em Inglês)

e

http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=598379 ("ISO/PC 248 Sustainability criteria for bioenergy" – em Inglês)

e

http://www.iso.org/iso/home/news_index/news_archive/news.htm?refid=Ref2009 ("Creating the bioenergy boom sustainably with ISO 13065" – por Elizabeth Gasiorowski Denis – em Inglês)

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

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

Cálculos, problemas e balanços aplicados ao setor de produção de celulose e papel de eucalipto: *Parte 01:* Uma centena de exemplos sobre qualidade e suprimento de madeira e processo de fabricação de celulose (Linha de fibras). C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 38. 177 pp. (2015)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT38_Calculos_Setor_Madeira_Celulose.pdf

Cálculos, problemas e balanços aplicados ao setor de produção de celulose e papel de eucalipto: *Parte 03:* Noventa exemplos sobre geração e conservação de energia, recuperação do licor preto kraft, utilidades e polpação química sulfito. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 40. 234 pp. (2015)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT40_Calculos_Recuperacao_Utilidades_Energia.pdf

O potencial das florestas energéticas. L.C. Rezende. Canal Jornal da Bioenergia. (2015)

http://www.canalbioenergia.com.br/a-energia-das-florestas/

Jornada de Biomasa Forestal 2015. INIA - Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Tacuarembó. Uruguay. (2015)

http://www.inia.uy/estaciones-experimentales/direcciones-regionales/inia-tacuaremb%C3%B3/jornada-de-biomasa-forestal-2015 (em Espanhol)

Producción de biomassa con espécies de *Eucalyptus*. F. Resquin. Jornada de Biomasa Forestal. INIA – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay. Apresentação em PowerPoint: 29 slides. (2015)

http://www.inia.uy/Documentos/Privados/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/Biomasa%2029%20octubre%20/2%20-%20Fernando%20Resquin%20Producci%C3%B3n.pdf (em Espanhol)

Produção de lenha de eucalipto para energia: o desafio do pequeno produtor fumicultor de Santa Cruz do Sul/RS. F.J. Simioni; C.C.A. Buschinelli; J.M.M.A.P. Moreira; B.M. Passos; S.B.F.T. Girotto. 53º Congresso SOBER – Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. 18 pp. (2015)

https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1032263/1/2015J.MauroSOBERProducao.pdf

A energia da biomassa. Revista Opiniões Florestal. (2015)

http://florestal.revistaopinioes.com.br/revista/energia-da-biomassa/

Caldeira de Biomassa - Autossuficiência energética e sustentabilidade do negócio. International Paper do Brasil. Prêmio

Fiesp de Mérito Ambiental. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. 20 pp. (2015)

http://www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=192787

Análise técnica de um cavaqueador e caracterização energética de cavacos de biomassa da colheita de 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

Inventário energético de resíduos rurais. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Nota Técnica DEA 15/14. 51 pp. (2014)

http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2015%20-%2014%20-%20%20Invent%C3%A1rio%20Energ%C3%A9tico%20de%20Res%C3%ADduos%20Rurais.pdf

Economicidade e competitividade do aproveitamento energético de resíduos rurais. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Nota Técnica DEA 17/14. 42 pp. (2014)

http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2017%20-%20Economicidade%20e%20Competitividade%20do%20Aproveitamento%20Energ%C3%A9tico%20de.pdf

Contribuição aos conhecimentos sobre a hidrologia dos eucaliptos - O eucalipto e a água: desvendando o mito! W.P. Lima. Eucalyptus Newsletter nº 46. 12 pp. (2014)

http://www.eucalyptus.com.br/news/06_news46_Com_a_Palavra_Paula_Lima.pdf

O que são florestas energéticas. A. Bellote. Mais Floresta 2014. (2014)

https://www.youtube.com/watch?v=QI2zpivFYtk

2º Anuário Brasileiro das Indústrias de Biomassa a Energias Renováveis. T. Fraga. (2014)

https://issuu.com/anuariobiomassa/docs/anuario_biomassa_e_energias_renovav?e=3524626/5496897

Soluções de cogeração para uma planta industrial utilizando o ciclo Brayton. M.S. Carvalho; L.A.M. Pontes. Revista Eletrônica de Energia 4(1): 53 – 64. (2014)

http://www.revistas.unifacs.br/index.php/ree/article/download/3348/2457

Mercado de lenha voltado ao beneficiamento de grãos e tabaco na região centro-noroeste do Rio Grande do Sul. T.F. Schulte; H.P. Greff; L.H. Oliveira. I Prêmio Serviço Florestal Brasileiro em Estudos de Economia e Mercado Florestal - 2013/2014. 42 pp. (2014)

http://www.esaf.fazenda.gov.br/assuntos/premios/premios-1/i-premio-florestal-brasileiro/3o-lugar-008g.pdf

Influência do espaçamento nas propriedades energéticas e biomassa de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. F.B. Wionzek. Dissertação de Mestrado. UNICENTRO – Universidade Estadual do Centro Oeste. 76 pp. (2014)

http://www.unicentro.br/posgraduacao/mestrado/bioenergia/dissertacoes/Disserta_o_bioenergia_final_55d3614dd2100.pdf

Influência do espaçamento nas características energéticas de espécies arbóreas em plantios de curta rotação. E. Eloy; B.O. Caron; D.A. Silva; D. Schmidt; R. Trevisan; A. Behling; E.F. Elli. Revista Árvore 38(3): 551 – 559. (2014)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v38n3/v38n3a18.pdf

Avaliação e modelagem do crescimento de florestas energéticas de eucalipto plantadas em diferentes densidades. I.P. Sartório. Dissertação de Mestrado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 137 pp. (2014)

http://www.floresta.ufpr.br/defesas/pdf_ms/2014/d667_0876-M.pdf

e

http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/bitstream/handle/1884/36422/R%20-%20D%20-%20IAN%20PEREIRA%20SARTORIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

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

Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. A.C.O. Carneiro; A.F.N.M. Castro; R.V.O. Castro; R.C. Santos; L.P. Ferreira; R.A.P. Damásio; B.R. Vital. Revista Árvore 38(2): 375 – 381. (2014)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v38n2/19.pdf

Viabilidade técnica e econômica de povoamentos de *Eucalyptus* spp. sob diferentes espaçamentos visando a produção de biomassa para energia. A.J. Dinardi. Tese de Doutoramento. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 102 pp. (2014)

http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/106669/000759670.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Energia verde no aproveitamento da biomassa florestal. Y.V. Abreu; C.M. Silva; H.R. Nascimento; S.M.G. Guerra**.** Revista da Madeira Edição 138. (2014)

http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1735&subject=Energia+Verde&title=Energia+verde+no+aproveitamento++da+biomassa+florestal

Wood fuel chip quality. Properties of fuel wood chips in Norway. E. Nordhagen. FEC/FORMEC-2014: Forest Engineering Conference: "Propelling the forest value chain". França. 08 pp. (2014)

http://fec2014.fcba.fr/wp-content/uploads/sites/4/2014/11/a116.pdf (em Inglês)

LCA - Life Cycle Assessment of woody biomass from energy crops. C. Cornillier; P. Ruch; A. Berthelot; J.-I. Fraysse. FEC/FORMEC-2014: Forest Engineering Conference: "Propelling the forest value chain". França. 13 pp. (2014)

http://fec2014.fcba.fr/wp-content/uploads/sites/4/2014/11/a66.pdf (em Inglês)

Logistics optimization of a biomass supply chain. A. Bouvet; H. Cambazard; B. Penz. FEC/FORMEC-2014: Forest Engineering Conference: "Propelling the forest value chain". França. 07 pp. (2014)

http://fec2014.fcba.fr/wp-content/uploads/sites/4/2014/11/a80.pdf (em Inglês)

Estimativa do poder calorífico de madeiras de acácia-negra e eucalipto do Município de Pelotas – RS. C.M. Couto. Trabalho de Conclusão de Curso. UFPel – Universidade Federal de Pelotas. 56 pp. (2014)

http://wp.ufpel.edu.br/esa/files/2014/10/TCC-CAROLINA-COUTO.pdf

Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. V.C. Soares; M.L. Bianchi; P.F. Trugilho; A.J. Pereira; J. Höfler. Revista Árvore 38(3): 543 – 549. (2014)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v38n3/v38n3a17.pdf

Qualidade dos cavacos para combustão. Lippel Equipamentos. 03 pp. (2014)

http://www.lippel.com.br/lippel/uploads/downloads/05-05-2014-10-36qualidade-dos-cavacos-para-combustao.pdf

Desempenho silvicultural e avaliação econômica de clones híbridos de eucaliptos plantados em diferentes regimes de manejo para fins energéticos. F.H.L. Gadelha. Tese de Doutorado. UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco. 147 pp. (2014)

http://ppgcf-ufrpe.jimdo.com/app/download/7043585965/Fernando+Henrique+de+Lima+Gadelha.pdf?t=1425043164

Fornalha a lenha para secagem de café e grãos. J.S. Silva; R.P. Lopes; D.G. Vitor; S.M.L. Donzeles. Embrapa. Comunicado Técnico 6. 14 pp. (2014)

http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/comunicadotecnico/Comunicado_Tecnico_06.pdf

A biomassa da vez. T. Santi. O Papel (Fevereiro): 34 – 36. (2014)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2014_Biomassa_da_vez.pdf

e

http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1392749584_114d7524e43f4e7c111b2495e4ecf603_767853924.pdf

Biorrefinaria da madeira: desafios e tendências. J.L. Colodette. 47º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 30 slides. (2014)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2014_ABTCP_Biorrefinarias_Colodette.pdf

Caracterização e avaliação do potencial energético dos resíduos florestais da indústria de papel e celulose. G.P. Vergara. Dissertação de Mestrado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 163 pp. (2014)

http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000928133&fd=y

Desafios para a produção de biocombustíveis de madeira. J. Colodette. CIFlorestas – Centro de Inteligência em Florestas. (2014)

http://www.ciflorestas.com.br/conteudo.php?id=10759

Estimativa do potencial energético de resíduos celulósicos de fabricação de papel através de análise imediata. I.T.M. Ferreira; W.N. Schirmer; G.O. Machado; M.V.D. Gueri. Revista Brasileira de Energias Renováveis 3: 284 – 297. (2014)

http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/rber/article/download/38618/pdf_31

Potencial de energias renováveis: Volume II – Biomassa, resíduos e hidroeletricidade. Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais. 119 pp. (2014)

http://pemc.meioambiente.mg.gov.br/upload/documents-pdf/eleicoes/pemc_potencial_er_vol_2_v1.0_15_04_2014_com_adequaa-a-es.pdf

Secagem de toras de *Eucalyptus* e *Corymbia* para uso energético. A.J.V. Zanuncio; J.T. Lima; T.C. Monteiro; A.G. Carvalho; P.F. Trugilho. Scientia Forestalis 41(99): 353 – 360. (2013)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr99/cap06.pdf

Eficiência energética: recomendações de ações de CT&I em segmentos da indústria selecionados – celulose e papel. CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Série Documentos Técnicos nº 20. 152 pp. (2013)

https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/Celulose_papel_web_9522.pdf

Caracterização, análise e perspectivas da matriz energética do setor de papel e celulose. V.B. Almeida. Dissertação de Mestrado. FGV – Fundação Getúlio Vargas. Escola de Economia de São Paulo. 81 pp. (2013)

https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/10995/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20Final%202013_07_22.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Plantios florestais em pequenas propriedades. J. Siqueira. Workshop Florestas Energéticas. Apresentação em PowerPoint: 13 slides. (2013)

http://www.stcp.com.br/upload/fck/Apresentação_Joesio_Siqueira_2013-03-20(1).pdf

Aproveitamento de resíduos florestais de *Eucalyptus spp* na indústria de fabricação de celulose para geração de energia térmica e elétrica. F.L.S. Santiago. Tese de Doutorado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 124 pp. (2013)

http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0936.pdf

Quantificação e caracterização da biomassa florestal em plantios de curta rotação. E. Eloy. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 89 pp. (2013)

http://coral.ufsm.br/ppgaaa/images/Elder_Eloy.pdf

Método Monte Carlo aplicado em florestas energéticas. L.A. Viana; M.S. Joaquim; A.N. Souza; K.L. Sanches; A.P.S. Camelo. Enciclopédia Biosfera 9(17): 1883 – 1897. (2013)

http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/METODO%20MONTE%20CARLO.pdf

Viabilidade econômica para implantação de cultivo de eucalipto para fins energéticos na Seara Indústria e Comércio de Produtos Agropecuários Ltda. V. Goltz. Dissertação de Mestrado. UFPel – Universidade Federal de Pelotas. 38 pp. (2013)

http://repositorio.ufpel.edu.br/bitstream/123456789/1422/1/dissertacao_victor_goltz.pdf

Utilização da biomassa residual como fonte de energia. L.R. Silva. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Juiz de Fora. 54 pp. (2013)

http://www.ufjf.br/engenhariadeproducao/files/2014/09/2012_3_Leonardo.pdf

Importância e versatilidade da madeira de eucalipto para a indústria de base florestal. D. Longue Júnior; J.L. Colodette. Pesquisa Florestal Brasileira 33(76): 429 – 438. (2013)

http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/528/343

Seleção de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. T.P. Protásio; A.M. Couto; A.A. Reis; P.F. Trugilho. Scientia Forestalis 41(97): 15 – 28. (2013)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr97/cap02.pdf

Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. A.M.B. Chaves; A.T. Vale; R.C.N. Melido; V.P. Zoch. Enciclopédia Biosfera 9(17): 533 – 542. (2013)

http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/CARACTERISTICAS%20ENERGETICAS.pdf

Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. T.A. Neves; T.P. Protásio; P.F. Trugilho; M.L.A. Valle; L.C. Sousa; C.M.M. Vieira. Revista de Ciências Agrárias 56(2): 139 – 148. (2013)

http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/rca.2013.022

Qualidade de cavacos produzidos em sistemas florestais de curta rotação de eucalipto para fins energéticos. N.S. Ceragioli. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 58 pp. (2013)

http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90647/000756934.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Análise termodinâmica de uma central de biomassa lenhosa. A.T.O.S. Silva. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa. Portugal. 139 pp. (2013)

http://run.unl.pt/bitstream/10362/9932/1/Silva_2013.pdf

Aproveitamento energético da biomassa. J.D. Rocha. Seminário: A importância da Biomassa Compactada para a Geração de Energia Limpa no Brasil (Florestal & Biomassa 2013). Vídeos YouTube. Canal Painel Florestal. (2013)

https://www.youtube.com/watch?v=sx_8wOCn7LI

Panorama e desafios na geração de energia a partir da biomassa. W.F. Quirino. Seminário: A importância da Biomassa Compactada para a Geração de Energia Limpa no Brasil (Florestal & Biomassa 2013). Vídeos YouTube. Canal Painel Florestal. (2013)

https://www.youtube.com/watch?v=fPg2w11Nxg0

Geração de energia a partir de cavaco de madeira (biomassa). M. Vahrenkamp; M. Teixeira. STEAG Energy Systems. Apresentação em PowerPoint: 15 slides. (2013)

http://vdibrasil.com/uploads/media/Biomassa_Michael_Vahrenkamp_Steag.pdf

Estudo comparativo da queima de petróleo de baixa fluência e biomassa em caldeiras. C.A. Oliveira. Centro Universitário UNIVATES. Monografia de Conclusão de Curso. 79 pp. (2013)

https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/369/1/CarlosOliveira.pdf

Cogeração de energia: o desafio da sustentabilidade energética. C. Tofanetto. LANXESS. AHK - Câmara de Comércio e Indústria Brasil – Alemanha. Apresentação em PowerPoint: 21 slides. (2013)

http://www.ahkbrasilien.com.br/fileadmin/ahk_brasilien/download_dateien/eventos_interior_lanxess_27-02-2013/Cogeracao_LANXESS.pdf

Avaliação do potencial de aproveitamento energético dos resíduos de madeira e derivados gerados em fábricas do polo moveleiro de Ubá – MG. R.M.P. Farage; A.A.P. Rezende; C.M. Silva; W.G. Nunes; A.C.O. Carneiro; D.B. Vieira; C.L.S. Rodrigues. Ciência Florestal 23(1): 203 – 212. (2013)

http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/download/8454/5134

Caracterização de resíduos agroindustriais e florestais visando a briquetagem. C.R.B. Marozzi. Monografia de Conclusão de Curso. UFES – Universidade Federal do Espírito Santo. 37 pp. (2012)

http://www4.florestaemadeira.ufes.br/sites/www.florestaemadeira.ufes.br/files/TCC_Carlos%20Ramiro%20Baroni%20Marozzi.pdf

Estimativa da geração de resíduos florestais no Brasil. T.A. Bortolini; A.C. Trentin; D. Peresin; V.E. Schneider. 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. 09 pp. (2012)

http://www.proamb.com.br/downloads/9qgd58.pdf

Demanda de lenha para secagem de grãos no estado do Paraná. R.A.O. Bell. Dissertação de Mestrado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 153 pp. (2012)

http://www.floresta.ufpr.br/defesas/pdf_ms/2012/d613_0800-M.pdf

Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. M.M. Souza; D.A. Silva; R. Rochadelli; R.C. Santos. Revista Floresta 42(2): 325 – 334. (2012)

http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/floresta/article/download/26593/18434

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. Vissotto; A.W. Mazzonetto; R.C. Neves; E.M.S. Sanchez; C.G. Sanchez. 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

Efetividade do poder calorífico de dois tipos distintos de biomassa utilizada para geração de energia. A.F. Mendonça; C.P. Silva; A.A.R. Almeida. Conexão Eletrônica Volume 2012: 641 – 646. (2012)

http://www.aems.edu.br/conexao/edicaoanterior/Sumario/2012/downloads/2012/saude/EFETIVIDADE%20DO%20PODER%20CALORÍFICO%20DE%20DOIS%20TIPOS%20DISTINTOS%20DE%20BIOMASSA%20UTILIZADA%20PARA%20GERAÇÃO%20DE%20ENERGIA.pdf

Influência do espaçamento e da idade na produção de biomassa e na rotação econômica em plantios de eucalipto. E.J. Paulino. Dissertação de Mestrado. UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. 60 pp. (2012)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7991/Dissertacao_Erik%20Junior%20Paulino.pdf?sequence=1&isAllowed=y

e

http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7991/Dissertacao_Erik%20Junior%20Paulino.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Subsídios para a elaboração de uma estratégia brasileira para economia de baixo carbono. Caderno 2. Nota técnica: Celulose e Papel. ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. 80 pp. (2012)

http://www.abdi.com.br/Estudo/caderno%2002%20-%20Papel%20e%20celulose.pdf

e

http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1352304909.pdf

Florestas energéticas. Realidades e perspectivas. A.F.J. Bellote. Congresso Mercosul de Biomassa e Bioenergia. Apresentação em PowerPoint: 33 slides. (2012)

http://www.porthuseventos.com.br/congresso_biomassa/Francisco_Belotte.pdf

Estudo termoquímico da queima de combustíveis em caldeiras usando balanços de energia. R.P. Francisco. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São João del Rei. 148 pp. (2012)

http://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/mestradoenergia/Dissertacoes/2009/Rodrigo_Pereira_Francisco.pdf

Renewable energy technologies: cost analysis series. Volume 1: Biomass for power generation. IRENA – International Renewable Energy Agency. 60 pp. (2012)

http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-BIOMASS.pdf (em Inglês)

Impacto do teor de umidade e da espécie florestal no custo da energia útil obtida a partir da queima da lenha. J.M.M.A.P. Moreira; E.A. Lima; I.C.G.R. Goulart. Embrapa Florestas. Comunicado Técnico nº 293. 05 pp. (2012)

http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65182/1/CT293.pdf

Energia da biomassa florestal. P.F. Trugilho. 4º Congresso Florestal Paranaense. 17 pp. (2012)

http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Palestras/Palestra-05.pdf

Caracterização energética do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. D.A. Silva; B.V. Müller; E.C. Kuiaski; A.B. Cunha. 4º Congresso Florestal Paranaense. 07 pp. (2012)

http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Trabalhos/05-Silvicultura/SIL-Artigo-36.pdf

Energia armazenada nos resíduos do desdobro de toras de *Eucalyptus grandis.* T.C. Monteiro; J.T. Lima; P.F. Trugilho. Ciência da Madeira 3(1): 33 – 42. (2012)

http://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/4035/3179

Structuring a biomass-to-energy project to industries. L.F. Pelegrini; E. Rietmann. EnerBiomassa12. Apresentação em PowerPoint: 08 slides. (2012)

https://2100.org/enerbiomassa/slides/B2/B2.1.pdf (em Inglês)

Tecnologia e soluções para melhor eficiência na geração de energia. Ciclo a vapor com aquecimento regenerativo. J.T. Sabia Júnior. TGM Turbinas Apresentação em PowerPoint: 25 slides. (2012)

http://www.stab.org.br/13_sba_palestras/02_TGM.pdf

Análise energética e exergética do ciclo Rankine de cogeração em uma usina de cana de açúcar. W.F. Queiroz. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Sergipe. 62 pp. (2012)

http://files.nmc.webnode.com.br/200000099-2dcc42e21f/TCC%20-%20Wesley%20-%20Vers%C3%A3o%20Final.pdf

Caracterização química e física da madeira de *Eucalyptus*. P.F. Trugilho; S.L. Goulart. EnerBiomassa12. Apresentação em PowerPoint: 16 slides. (2012)

http://2100.org/enerbiomassa/slides/A2/A2.1.pdf

Extrativos nas propriedades energéticas de *Eucalyptus* e *Pinus*. A.J.V. Zanuncio; P.F. Trugilho; J.R.C. Nobre. EnerBiomassa12. 01 pp. (2012)

http://www.enerbiomassa.2100.org/abstracts/bilingues/EB_en_br_PA-2.pdf

Qualidade da madeira de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. B.L.C. Pereira. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 103 pp. (2012)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/4/TDE-2012-08-29T101602Z-3902/Publico/texto%20completo.pdf

Qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* cultivados no sul de Minas Gerais. T. Andrade Neves. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 95 pp. (2012)

http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/841/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_%20Qualidade%20da%20madeira%20e%20do%20carv%c3%a3o%20vegetal%20de%20clones%20de%20Eucalyptus%20cultivados%20no%20sul%20de%20Minas%20Gerais.pdf

Uso da biomassa como alternativa energética. B.M. Cardoso. Trabalho de Conclusão de Curso. UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 112 pp. (2012)

http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005044.pdf

Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. L.C. Santos; A.M.M.L. 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

Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de *Pinus* taeda em diferentes idades. T.S. Furtado; J.C.

Ferreira; M.A. Brand; M.D. Neves. Revista Árvore 36(3): 577 – 582. (2012)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v36n3/v36n3a20.pdf

Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas. A.C. Vieira. Dissertação de Mestrado. UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 72 pp. (2012)

http://projetos.unioeste.br/pos/media/File/energia_agricultura/pdf/Dissertacao_Ana_C_Vieira.pdf

Inovação tecnológica há mais de um século. R.E. Hakamada. Revista Opiniões 29. (2012)

http://florestal.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/9-inovacao-tecnologica-ha-mais-de-um-seculo/

Florestas energéticas. Revista Opiniões. Edição 29. (2012)

http://revistaonline.revistaopinioes.com.br/revistas/flo/71/#page/4

Bioenergia: desenvolvimento, pesquisa e inovação. E.G.M. Lemos; N. Stradiotto. Cultura Acadêmica. 1072 pp. (2012)

http://www.culturaacademica.com.br/_img/arquivos/Bioenergia-DIGITAL.pdf

Caracterização energética de *pellets* de madeira. D.P. Garcia; J.C. Caraschi; G. Ventorim. 7º Congresso Internacional de Bioenergia. 06 pp. (2012)

http://www.abipel.com.br/media/doc/CARACTERIZACAO_ENERGETICA_DE_PELLETS_DE_MADEIRA_7_Bioenergia.pdf

Florestas energéticas substituindo combustíveis fósseis em aplicações industriais. ERB – Energias Renováveis do Brasil. Fórum sobre Biomassa e Energia. SIF – Sociedade de Investigações Florestais. Apresentação em PowerPoint: 09 slides. (2012)

http://www.sif.org.br/noticia/minas-discute-biomassa-e-energia

Florestas energéticas - Estado de São Paulo. E.P. Castanho Filho. IEA – Instituto de Economia Agrícola. Apresentação em PowerPoint: 11 slides. (2012)

http://www.iea.sp.gov.br/out/palestras/palestra1.pdf

Uso da biomassa como alternativa energética. B.M. Cardoso. Monografia de Conclusão de Curso. UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 112 pp. (2012)

http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005044.pdf

Florestas energéticas em plantações adensadas de árvores: a energia pode ser renovável – mas e os demais itens do ecossistema? C. Foelkel. Folha Informativa TECNICELPA Edição 35. 02 pp. (2012)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Tecnicelpa%2035_CF.pdf

e

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Florestas%20energeticas%20em%20plantacoes%20adensadas.pdf

Evaluation of the environmental performance in the furniture industry – a case study. W.N. Schirmer; M.A. Gauer; É. Hillig; D. Bartiko. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia 8(4): 257- 267. (2011)

http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=1865&article=668&mode=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 (Artigo disponibilizado para leitura ao final dessa relação de referências de literatura)

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

Short rotation eucalypt plantations for energy in Brazil. L. Couto; I. Nicholas; L. Wright. IEA – Bioenergy. Report Task 43:2011:02. 17 pp. (2011)

http://ieabioenergytask43.org/wp-content/uploads/2013/09/IEA_Bioenergy_Task43_PR2011-02.pdf (em Inglês)

Potencial e participação das florestas na matriz energética. J.M.M.A.P. Moreira. Pesquisa Florestal Brasileira 31(68): 363 – 372. (2011)

http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/download/287/235

Cogeração de energia através do bagaço de cana de açúcar. Revisão de literatura. T.F. Cardoso. Monografia de Pós-Graduação. UFSCAR – Universidade Federal de São Carlos. 22 pp. (2011)

http://www.etanol.ufscar.br/trabalhos-mta/sertaozinho-ii-c/trabalhos/monografia-tiago-fiori-cardoso.pdf

Análise econômica da implantação de um sistema de cogeração de energia por biomassa: um estudo de caso de uma fábrica de carbonato de cálcio precipitado situada no centro-oeste de Minas Gerais. L.F. Santos. Trabalho de Conclusão de Curso. UNIFOR - Centro Universitário de Formiga. (2011)

http://bibliotecadigital.uniformg.edu.br:21015/jspui/bitstream/123456789/116/1/LuizFernandoSantos-EP.pdf

Modelo para avaliação do consumo específico de madeira e insumos energéticos no processo de produção de celulose e papel. F.A.B. Moraes. UNIARA – Centro Universitário de Araraquara. 209 pp. (2011)

http://docslide.com.br/documents/consumo-madeira-e-energia-na-industria-celulose.html

Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. A.C.F. Vital; A.B. Hora. BNDES Setorial 33: 261 – 314. (2011)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4030/BNDES_Perspectivas-do-setor-de-biomassa-de-madeira-para-gera%c3%a7%c3%a3o-de-energia.pdf?sequence=1&isAllowed=y

e

http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3308.pdf

Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. R.C. Santos; A.C.O. Carneiro; A.F.M. Castro; R.V.O. Castro; J.J. Bianche; M.M. Souza; M.T. Cardoso. Scientia Forestalis 39(90): 221 – 230. (2011)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr90/cap10.pdf

Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. E.A. Lima; H.D. Silva; O.J. Lavoranti. Pesquisa Florestal Brasileira 31(65): 09 – 17. (2011)

http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/884534/1/edsonlima.pdf

Influência do espaçamento e da idade na produtividade e nas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia. M.F.V. Rocha. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 86 pp. (2011)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/6839/dissertacao_Maria%20Fernanda%20Vieira%20Rocha.pdf?sequence=1&isAllowed=y

e

http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3130/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Custos de produção das biomassas de eucalipto e capim elefante para energia. L.R.M. Quéno; A.N. Souza; H. Ângelo; A.T. Vale; I.S. Martins. Cerne 17(3): 417 – 426. (2011)

http://www.scielo.br/pdf/cerne/v17n3/v17n3a17.pdf

XLIV Reunião Técnico-Científica do Programa de Silvicultura e Manejo (PTSM/IPEF). Tema: Florestas Energéticas. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. (2011)

http://www.ipef.br/eventos/2011/ptsm44.asp

Eficiência energética em sistema de combustão de caldeira. A.D. Salum. Monografia de Pós-Graduação. UFBA – Universidade Federal da Bahia. 54 pp. (2011)

http://www.pei.ufba.br/novo/uploads/biblioteca/TFC%20-%20ANDERSON%20DOURADO%20SALUM.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

A silvicultura e a água: ciência, dogmas, desafios. W.P. Lima. Diálogo Florestal. Cadernos de Diálogo nº 1. 68 pp. (2010)

http://www.ipef.br/hidrologia/cadernos-do-dialogo-volume-1-agua-e-silvicultura.pdf

The BEPP - Brazil *Eucalyptus* Potential Productivity Project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. J.L. Stape; D. Binkley; M.G. Ryan; S. Fonseca; R.A. Loos; E.N. Takahashi; C.R. Silva; S.R. Silva; R.E. Hakamada; J.M.A. Ferreira; A.M.N Lima; J.L. Gava; F.P. Leite; H.B. Andrade; J.M. Alves; G.C. Silva; M.R. Azevedo. Forest Ecology and Management 259: 1684-1694. (2010)

http://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/rmrs_2010_stape_j001.pdf (em Inglês)

e

http://warnercnr.colostate.edu/~dan/papers/FEM_2010_BEPPMensuration.pdf (em Inglês)

Um guia referencial sobre ecoeficiência energética para a indústria de papel e celulose kraft de eucalipto no Brasil. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 19. 140 pp. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT19_EcoeficienciaEnerg.pdf

Desenvolvimento e construção de fornalha para biomassa com sistema de aquecimento direto e indireto do ar. F.A.O. Melo; J.N. Silva; J.S. Silva; C.P. Sampaio; D.F. Silva. Acta Scientiarum 32(2): 129 – 136. (2010)

http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/viewFile/1575/1575

Caracterização física e química do solo e avaliação do desenvolvimento de plantas de eucalipto em função do espaçamento e da adubação, visando a colheita precoce para utilização em bioenergia. E.A. Garcia. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 114 pp. (2010)

http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0527.pdf

Alternativa para redução do consumo de combustível fóssil em uma fábrica de celulose kraft de eucalipto. F.A. Silva. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 39 pp. (2010)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2883/dissertacao_Fl%c3%a1via%20Azevedo%20Silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Geração de energia elétrica utilizando biomassa. E.V. Preto; G.L. Mortoza. Trabalho de Conclusão de Curso. UnB – Universidade de Brasília. 92 pp. (2010)

http://www.lippel.com.br/lippel/uploads/downloads/02-05-2014-15-08geracao-de-energia-eletrica-utilizando-biomassa.pdf

Geração de energia elétrica a partir do bagaço da cana de açúcar. M.R. Comin. Monografia de Conclusão de Curso. UFSCAR – Universidade Federal de São Carlos. 48 pp. (2010)

http://www.etanol.ufscar.br/trabalhos-mta/sertaozinho-i-c/trabalhos/monografia-marcio-rogerio-comin.pdf

Energia de biomassa florestal. M.A. Brand. Editora Interciência. 114 pp. (2010)

https://www.youtube.com/watch?v=Hb5BPrUbEpA&ampampampampampampampampampampampampampampampfeature=youtu.be

Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de *Eucalyptus urophylla* (Cruzamento natural) e *Eucalyptus brassiana* (Cruzamento natural) na Chapada do Araripe – PE. F.H.L. Gadelha. Dissertação de Mestrado. UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco. 65 pp. (2010)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/5364/dissertacao_Fernando%20Henrique%20de%20Lima%20Gadelha.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. R.C. Santos. Tese de Doutorado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 173 pp. (2010)

http://www.prpg.ufla.br/ct-madeira/wp-content/uploads/2012/07/Rosimeire-Cavalcante-dos-Santos-Tese1.pdf

Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. A.C. Oliveira; A.C.O. Carneiro; B.R. Vital; W. Almeida; B.L.C. Pereira; M.T. Cardoso. Scientia Forestalis 38(87): 431 – 439. (2010)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr87/cap10.pdf

Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita florestal e do processamento de *Pinus taeda* L. M.M. Souza. Dissertação de Mestrado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 77 pp. (2010)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/5036/dissertacao_%20Marina%20Moura%20de%20Souza.pdf?sequence=1&isAllowed=y

e

http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2010/d546_0745-M.pdf

Plantio adensado de eucaliptos clonais para produção de biomassa para energia em curta rotação. L. Couto. 5º Congresso Internacional de Bioenergia. Porthus Eventos. Apresentação em PowerPoint: 47 slides. (2010)

http://www.porthuseventos.com.br/eventobioenergia/2010/congresso/br/palestras/11/Manha/PLANTIO_ADENSADO_DE_EUCALIPTOS_CLONAIS_PARA_PRODUCAO_DE_BIOMASSA_PARA_ENERGIA_EM_CURTA_ROTACAO.pdf

Aproveitamento da biomassa florestal: Produção de energia verde no Brasil. Y.V. Abreu; C.M. Silva; H.R. Nascimento; S.M.G. Guerra. 48º Congresso SOBER. 16 pp. (2010)

http://sober.org.br/palestra/15/490.pdf

Análise térmica e ambiental da queima de resíduos primários de tratamento de efluentes da indústria de papel e celulose em substituição ao óleo combustível. J.C.F. Macedo; R.J. Silva. CONEM 2010. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. 09 pp. (2010)

http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-1997.pdf

Cadeia produtiva de energia de biomassa na região do planalto sul de Santa Catarina: uma abordagem prospectiva. F.F. Simioni; V.A. Hoeflich. Revista Árvore 34(6): 1091 – 1099. (2010)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v34n6/a15v34n6.pdf

Culturas energéticas florestais. Primeira abordagem do levantamento da situação actual. Direção Nacional das Fileiras Florestais. Portugal. 30 pp. (2010)

http://www.icnf.pt/portal/florestas/fileiras/resource/docs/biom/biomass-gtce-jun10

Expansão das florestas plantadas com fins energéticos no Brasil e sua influência nas emissões dos gases de efeito estufa – GEE: Análise de dois cenários futuros. R.S.E.S. Puentes. Dissertação de Mestrado. COPPE – UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 147 pp. (2010)

http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/renzo_puentes.pdf

Produção de carvão vegetal utilizando madeira de florestas plantadas de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 18. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_abril10.html#quatorze

Briquetes e péletes de madeira de *Pinus* para geração de energia. E. Foelkel. PinusLetter nº 20. (2009)

http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_20.html#quatorze

Trajetórias de trabalho de famílias integradas à agroindústria na produção de fumo. M. Hartwig. Revista Estudos do Trabalho 3(4). 34 pp. (2009)

http://www.estudosdotrabalho.org/Trajet%F3rias%20de.pdf

Qualidade da madeira para fins energéticos. P.F. Trugilho. 4º Congresso Internacional de Bioenergia. Apresentação em PowerPoint: 13 slides. (2009)

http://www.porthuseventos.com.br/site/eventos/2009/eventobioenergia.com.br/congresso/br/palestras/PauloFernandoTrugilho.pdf

Florestas energéticas: inovação para sustentabilidade. Embrapa Florestas. 12 pp. (2009)

http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/53622/1/Florestas-energeticas.pdf

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

Madeira para produção de carvão e biomassa. R. Almado. IPEF 2020 – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Apresentação em PowerPoint: 44 slides. (2009)

http://www.ipef.br/apresentacao/ipef2020/IPEF2020_Tema%209_Biomassa.pdf

Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* com enfoque energético. W.M.S. Santana. Dissertação de Mestrado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 104 pp. (2009)

http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/3007/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_Crescimento%2c%20produ%c3%a7%c3%a3o%20e%20propriedades%20da%20madeira%20de%20um%20clone%20de%20Eucalyptus%20grandis%20x%20E.%20urophylla%20com%20enfoque%20energ%c3%a9tico.pdf

The Brazilian pulp industry performance and potential for bioenergy generation. J.L. Colodette; M.F. Andrade; A. Zanúncio. Seminário Internacional "Biocombustibles y su Futuro en la Matriz Energética". Apresentação em PowerPoint: 53 slides. (2009)

http://www.uchile.cl/uchile/download.jsp?document=57122&property=attachment&index=7&content=application/pdf

Florestas energéticas na matriz de agroenergia brasileira. A.F.J. Bellote; H.D. Silva. Projeto Embrapa Florestas. (2009)

https://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/gestaomacrograma1/projetos/projetos-em-execucao/florestas-energeticas-na-matriz-de-agroenergia/resumo-1

Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos - Sumário executivo -Revisão 00. M. Wiecheteck. Ministério do Meio Ambiente. Brasil. 40 pp. (2009)

http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033501.pdf

Situação atual e perspectivas da silvicultura com espécies potenciais para produção de biomassa para energia. J.L. Gava. 1º Congresso Brasileiro de Florestas Energéticas. Apresentação em PowerPoint: 53 slides. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2009_Perspectivas_silvicultura.pdf

Estado da arte da pesquisa em qualidade da madeira e derivados para energia. A.C.O. Carneiro. 1º Congresso Brasileiro de Florestas Energéticas. Apresentação em PowerPoint: 32 slides. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2009_Qualidade_madeira_energia.pdf

Aspectos hidrológicos dos plantios florestais para fins energéticos nos diferentes biomas brasileiros. W.P. Lima. 1º Congresso Brasileiro de Florestas Energéticas. Apresentação em PowerPoint: 49 slides. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/Aspectos_Hidrologicos_PAULA_LIMA.pdf

Florestas energéticas no Brasil. Demanda e disponibilidade. D. Calais. Silviminas - Associação Mineira de Silvicultura. 23 pp. (2009)

http://www.silviminas.com.br/arquivo/publicacoes.aspx?ano=23

Geração de resíduos de madeira e derivados da indústria moveleira em função das variáveis de produção. E. Hillig; V.E. Schneider; E.T. Pavoni. Produção 19(2): 292 – 303. (2009)

http://www.scielo.br/pdf/prod/v19n2/v19n2a06.pdf

Potencialidades de florestas energéticas de *Eucalyptus* no pólo gesseiro do Araripe Pernambuco. J.A.A. Silva. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica Volumes 5 e 6: 301 – 319. (2008/2009)

http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/19396/1/Silva.pdf (Texto)

e

http://www.ipa.br/publicacoes/Palestra%20-%2017.pdf (Palestra 1)

e

http://www.itep.br/images/Biblioteca/eucalyptus%20como%20alternativa%20no%20pga%20modo%20de%20compatibilidade.pdf (Palestra 2)

Manejando as florestas plantadas de eucalipto para maior sustentabilidade. C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 19. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_jan09.html#quatorze

Os eucaliptos e a conservação do solo. C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 14. (2008)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_abril08.html#quatorze

Utilização de resíduos agrícolas e florestais como fonte de energia para a secagem de grãos de *Coffea canephora* var. Conilon. O. Saiter. Monografia de Conclusão de Curso. UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 29 pp. (2008)

http://www.if.ufrrj.br/inst/monografia/2008II/Monografia_Osmir.pdf

Energy from biomass in pulp and paper mills. D. Gavrilescu. Environmental Engineering and Management Journal 7(5): 537 – 545. (2008)

http://omicron.ch.tuiasi.ro/EEMJ/pdfs/vol7/no5/9_Gavrilescu_D.pdf (em Inglês)

Tipos e aplicações de caldeiras. N.R. Leite; R.A. Militão. Disciplina de Fabricação e Montagem de Caldeiras e Trocadores de Calor. Petrobrás. Escola Politécnica. USP – Universidade de São Paulo. 112 pp. (2008)

https://lcsimei.files.wordpress.com/2012/09/caldeiras_prominp.pdf

Viabilidade econômica da produção de biomassa de eucalipto e de capim elefante para energia. L.R.M. Quéno. Dissertação de Mestrado. UnB – Universidade de Brasília. 77 pp. (2008)

http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/7547/1/2009_LaurentRogerMQueno.pdf

Capítulo 4 - Biomassa. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 3ª Edição. (2008)

http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf

e

http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf

e

http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689 (Todos os capítulos do Atlas)

Biomassa de ciclos curtos (no Brasil e no exterior). S. Urquiaga; V.N.G. Mazzarella. Maden 2008. Apresentação em PowerPoint: 60 slides. (2008)

http://www.inee.org.br/down_loads/biomassa/Apresentação%20Urquiaga_Mazzarella%20-%20campim%20elefante-atual%2002set.pdf

Como evoluir a produtividade da cadeia de madeira energética. J.O. Brito. Maden 2008. Apresentação em PowerPoint: 44 slides. (2008)

http://www.inee.org.br/down_loads/biomassa/Rio%20de%20Janeiro%202008.pdf

Créditos de carbono. Floresta plantada e carbonização. L. Mello. EcoSecurities. Apresentação em PowerPoint: 13 slides. (2008)

http://www.inee.org.br/down_loads/biomassa/Apresentação%20Evento%20INEE.pdf

Espécies florestais para produção de energia. C.R. Souza; C.P. Azevedo; R.M.B. Lima; L.M.B. Rossi. Embrapa CPAA. Circular Técnica nº 31. 08 pp. (2008)

http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/669033/1/CircTec312008.pdf

Aproveitamento de cavacos atrai interesse internacional. F.C. Neutzling. Revista da Madeira 111. (2008)

http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1225&subject=Cavacos&title=Aproveitamento%20de%20cavacos%20atrai%20interesse%20internacional

Florestas e bioenergia. E.P. Castanho Filho. Informações Econômicas 38(2): 53 – 67. (2008)

http://www.lerf.esalq.usp.br/divulgacao/recomendados/artigos/castanhofilho2008.pdf

Densificação da madeira. C. Fraza. Maden 2008. Apresentação em PowerPoint: 23 slides. (2008)

http://www.inee.org.br/down_loads/biomassa/Carlos%20Fraza%20Maden%202008.pdf

Consumo de lenha e produção de resíduos de madeira no setor comercial e industrial do Distrito Federal. R.A. Barroso. Dissertação de Mestrado. UnB – Universidade de Brasília. 65 pp. (2008)

http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/1919/1/2008_RodrigoAlmeidaBarroso.pdf

Biomassa para energia. L.A.B. Cortez; E.E.S. Lora; E.O. Gómez. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 29 pp. (2008)

http://www.nipe.unicamp.br/2013/docs/publicacoes/inte-biomassa-energia070814.pdf

Uso da madeira para fins energéticos. H.D. Silva. Maden 2008. Embrapa Florestas. Apresentação em PowerPoint: 35 slides. (2008)

http://www.inee.org.br/down_loads/biomassa/Apresentação%20Helton%20Rio%20de%20Janeiro%20v2.pdf

Viabilidade econômica de um projeto de cogeração via um turbogerador de eletricidade. C.S. França. Monografia de Conclusão de Curso. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. 78 pp. (2008)

http://tcc.bu.ufsc.br/Economia293382

Efeito do espaçamento e arranjo do plantio do eucalipto na capacidade operacional e custo da colheita com colhedora florestal. R.J. Martins. Tese de Doutorado. ESALQ/USP - Universidade de São Paulo. 85 pp. (2008)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-11032009-142847/publico/ruben_martins.pdf

Avaliação do potencial energético dos resíduos da construção civil. E.D Holz. Trabalho de Conclusão de Curso. UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 55 pp. (2008)

https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26032/000755011.pdf?sequence=1

Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the

Brazilian experience. J.L.M. Gonçalves; J.L. Stape; J.-P. Laclau; J.-P. Bouillet; J. Ranger. Southern Forests 70(2): 105-118. (2008)

http://www.ipef.br/eventos/2009/graduatecourse/19-Goncalves_et_al_2008.pdf (em Inglês)

e
http://www.informaworld.com/smpp/content~db=all?content=10.2989/SOUTH.FOR.2008.70.2.6.534 (em Inglês)

Análise de viabilidade econômico financeira de projeto de geração de créditos de carbono e comercialização de madeira através do cultivo do *Eucalyptus urophylla.* A.R. Lima; M. Oliveira; R.A.S. Berbel. Plano de Negócios. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Ciências Econômicas e Administrativas de Presidente Prudente. 105 pp. (2008)

http://intertemas.unitoledo.br/revista/index.php/Negocios/article/viewFile/863/835

Valorização energética sustentável de biomassa dos resíduos florestais da Mata Atlântica (Brasil). C.A.S. Matos. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa. 151 pp. (2007)

http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/447/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Mestrado_Bioenergia_Carlos_Matos.pdf

Comércio internacional de madeira para energia. A.A. Santos; M.L. Silva; S.A. Cordeiro; S.R. Valverde; L.A.G. Jacovine. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal 5(9). 15 pp. (2007)

http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/r0Hl9PTC0a4QbGo_2013-4-26-14-51-53.pdf

Sumário do Workshop Madeira Energética no BNDES. L.H.; Nogueira; O. Puppin. INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. 09 pp. (2007)

http://www.inee.org.br/down_loads/biomassa/Sumario%20Workshop%20Madeira%20Energetica.doc

Geração termelétrica a partir da biomassa. Plano Nacional de Energia 2030. Volume 8. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. 250 pp. (2007)

http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_8.pdf

Otimização do uso de lenha e cavaco de madeira para produção de energia em agroindústria Seropédica. M.D. Nascimento. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 103 pp. (2007)

http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90683/nascimento_md_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Metodologia de análise de desempenho de turbinas a vapor operando em ciclos convencionais e combinado. C.F. Moraes. Dissertação de Mestrado. UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá. 341 pp. (2007)

http://saturno.unifei.edu.br/bim/0031619.pdf

O uso energético da madeira. J.O. Brito. Estudos Avançados 21(59): 185 – 193. (2007)

http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a14v2159.pdf

Florestas energéticas. Situação atual e perspectivas no Brasil. Caso V&M Florestal. M.E.L. Winter. Vallourec & Mannesmann. Apresentação em PowerPoint: 24 slides. (2007)

http://www.inee.org.br/down_loads/eventos/0945MarioWinter%20VM.ppt

Produtos e propriedades energéticas da madeira. P. Schürhaus. UNIUV – Centro Universitário de União da Vitória. 162 pp. (2007)

http://engmadeira.yolasite.com/resources/Energia%20da%20madeira.pdf

Análise de viabilidade econômica em co-geração de energia elétrica. M.P.T. Nagaoka; M.S.T. Esperancini; J.S. Virgens Filho; A.M. Magalhães; M.E. Nagaoka; S.P.S. Guerra. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal 5(9). 15 pp. (2007)

http://www.faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/4v0FmIXuDwu1NDC_2013-4-26-14-57-45.pdf

Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem. M.A. Brand. Tese de Doutorado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 169 pp. (2007)

http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/10397/Tese-vers%20o%20final%20-

%20Martha%20Andreia%20Brand.pdf;jsessionid=8E54FFE84CE46F74ECA9AA4563E1F90E?sequence=1

As florestas plantadas de eucaliptos e o consumo de água. C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 11. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_set07.html#quatorze

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

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

A produção florestal e a industrialização de seus resíduos na região de Jaguariaíva – Paraná. D.C. Magossi. Dissertação de Mestrado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 88 pp. (2007)

http://www.floresta.ufpr.br/defesas/pdf_ms/2007/d485_0633-M.PDF

Análise preliminar da viabilidade de cultivos florestais para produção de energia elétrica. S.I. Gomes; P.R. Paraiso; C.M.G. Andrade. Espaço Energia 4. 10 pp. (2006)

http://www.espacoenergia.com.br/edicoes/4/004-04.pdf

Análise térmica e ambiental da queima do lodo primário da fabricação de papel e celulose em caldeira de biomassa à grelha. J.C.F. Macedo. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá. 216 pp. (2006)

http://saturno.unifei.edu.br/bim/0030153.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

Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis x E. urophylla.* V.E. Costa. Tese de Doutorado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 114 pp. (2006)

http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0043.pdf

Uso da biomassa florestal na geração de energia. T.S. Soares; A.C.O. Carneiro; E.O. Gonçalves; J.G. Lellis. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal. 09 pp. (2006)

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/florestal1_000gapwcajw02wx5ok04xjloyxd3fpu2.pdf

Viabilidade econômica de produção de lenha de eucalipto para secagem de produtos agrícolas. P.C. Afonso Júnior; D. Oliveira Filho; D.R. Costa. Engenharia Agrícola 26(1): 28 – 35. (2006)

http://www.scielo.br/pdf/eagri/v26n1/30093.pdf

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

Resíduos de madeira da indústria madeireira – caracterização e aproveitamento. E. Hillig; V.E. Schneider; C. Weber; R.D. Tecchio. XXVI ENEGEP. 07 pp. (2006)

http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2006_tr520346_8192.pdf

Espaçamento de plantio. Conceitos e aplicações. J.L. Stape. I Simpósio sobre Uso Múltiplo de *Eucalyptus.* Apresentação em PowerPoint: 72 slides. (2006)

http://www.tume.esalq.usp.br/simp/arquivos/espacamento.pdf

Large scale short rotation eucalypt plantations for energy in Brazil: an overview. L. Couto; D. Calais; M. Muller; D.C. Barcellos; M.M.F.C. Araújo. Workshop on Sustainable Biomass Production for the World Market. Apresentação em PowerPoint: 32 slides. (2005)

http://www.bioenergytrade.org/downloads/coutonovdec05.pdf (em Inglês)

Resíduos de indústria madeireira: caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. R.I.J.P. Dutra; S.M. Nascimento. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal 5. 19 pp. (2005)

http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/7kc54tJmvnT43dW_2013-4-25-14-47-28.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

Estudo de viabilidade de instalações energéticas. S. Malheiro. Seminário Internacional "A biomassa florestal, energia e o desenvolvimento rural". UTAD/Portugal. Apresentação em PowerPoint: 31 slides. (2005)

http://enersilva.navegantes.info/resultados/SalvadorMmalheiro%2014%20dezembro.pdf

Oportunidades do aproveitamento da biomassa florestal. E. Rodrigues. Seminário Internacional "A biomassa florestal, energia e o desenvolvimento rural". Universidade do Porto/Portugal. Apresentação em PowerPoint: 17 slides. (2005)

http://enersilva.navegantes.info/resultados/eugenia_rodrigues_cbe.pdf

Apostila de cogeração. N.P. Brasil. Curso Engenharia de Equipamentos. NEST/EFEI/FUPAI. UFF – Universidade Federal Fluminense. 35 pp. (2005)

http://www.professores.uff.br/dulcemar/Doc_PDF/Apostila_Cogeracao_Otima.pdf

Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. W.F. Quirino; A.T. Valle; A.P.A. Andrade; V.L.S. Abreu; A.C.S. Azevedo. Revista da Madeira 89: 100 – 106. (2005)

http://www.funtecg.org.br/arquivos/podercalorifico.pdf

Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira. F. Rosillo-Calle; S.V. Bajay; H. Rothman. Editora UNICAMP. 447 pp. (2005)

http://www.saraiva.com.br/uso-da-biomassa-para-producao-de-energia-na-industria-brasileira-1389287.html?sku=1389287&force_redirect=1&pac_id=123134

Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba - MG. M.D. Müller. Tese de Doutorado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 108 pp. (2005)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/31/129121_c.pdf?sequence=2&isAllowed=y

e

http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/muller,md.pdf

Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no Brasil. L. Calegari; C.E.B. Foelkel; C.R. Haselein; J.L.S. Andrade; P. Silveira; E.J. Santini. Biomassa e Energia 2(1): 37 – 46. (2005)

http://www.renabio.org.br/04-B&E-v2-n1-2005-p37-46.pdf

O estado-da-arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. D.C. Barcellos; L.C. Couto; M.D. Müller; L. Couto. Biomassa e Energia 2(2): 141 – 158. (2005)

http://www.renabio.org.br/06-B&E-017-BarcellosDC-QualMadeira-2005-p141-158.pdf

Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia. M.D. Müller; L. Couto; H.G. Leite; J.O. Brito. Biomassa & Energia 2(3): 177-186. (2005)

http://www.renabio.org.br/arquivos/p_avaliacao_energia_27354.pdf

Produção de biomassa e balanço nutricional de plantações de eucalipto clonal em diferentes densidades de plantio no município de Itamarandiba-MG. M.D. Müller; L. Couto; J.C.L. Neves. Biomassa & Energia 2(2): 91-101. (2005)

http://www.renabio.org.br/arquivos/p_producao_itamarandiba-mg_28877.pdf

Análise energética de diferentes sistemas de cogeração com bagaço de cana de açúcar. L.G.S. Rodrigues. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 145 pp. (2005)

http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/145-dissertacao_luiz_gustavo_scartezini_rodrigues.pdf

Avaliação técnico-econômica do processo de cogeração em uma indústria sucroalcooleira. L.A. Perea. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 132 pp. (2005)

http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90596/perea_la_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Quantificação de biomassa em povoamentos de *Eucalyptus saligna* com diferentes idades. M.W. Schumacher; M.V.W. Caldeira. Biomassa & Energia 1(4): 381 - 391. (2004)

http://www.renabio.org.br/08-B&E-v1-n4-2004-p381-391.pdf

Informe de la misión técnica a la central de biomassa forestal de Mortágua. (Portugal). Asociación Forestal de Galícia – Espanha. 11 pp. (2004)

http://enersilva.navegantes.info/areasubir/resultados/INFORME%20MORTAGUA.pdf
(em Espanhol)

Análise econômico-energética de utilização de resíduo industrial florestal para geração de energia térmica: um estudo de caso. F.C.P.D. Farra. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 72 pp. (2004)

http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90587/dalfarra_fcp_me_botfca.pdf?sequence=1

Aproveitamento da biomassa para a geração de energia elétrica. O.S. Martins. 1º Seminário sobre a Utilização de Energias Renováveis para Eletrificação Rural do Norte e Nordeste do Brasil. Apresentação em PowerPoint: 31 slides. (2004)

http://www.eletrobras.gov.br/elb/portal/data/documents/storedDocuments/%7BA550763A-377A-4EFC-B5F4-7FB3FFD886CB%7D/%7B6632A665-43B7-4D5B-838F-E2283345D2D2%7D/1%B0Semin%E1rioFRE_ANEEL_CENBIO_Biomassa_041209.pdf

Utilização de biomassa na secagem de produtos agrícolas via gaseificação com combustão adjacente dos gases produzidos. J.N. Silva; J. Cardoso Sobrinho; E.T. Saiki. Engenharia Agrícola 24(2): 405 – 411. (2004)

http://www.agrolink.com.br/downloads/105923.pdf

Vias de valorização energética da biomassa. L.C. Couto; L. Couto; L.F. Watzlawick; D. Câmara. Biomassa e Energia 1(1): 71 – 92. (2004)

http://www.renabio.org.br/008-B&E-v1-n1-2004-71-92.pdf

Produção de biomassa florestal para exportação: o caso da AMCEL. I.H. Omachi; L.G. Rodrigues; M. Stolf; R. Cannaval; R. Sobreiro. Biomassa & Energia 1(1): 29 – 36. (2004)

http://www.renabio.org.br/003-B&E-v1-n1-2004-29-36.pdf

Indústria moveleira e resíduos sólidos: considerações para o equilíbrio ambiental. E.F. Casagrande Júnior; M.C. Silva; A.C. Casilha; C.L. Podlasek; S.N.F. Mengatto. Revista Educação & Tecnologia 8: 209 – 228. (2004)

http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/grupos/tema/25indus_moveleira_ambiental.pdf

Resíduos do setor madeireiro: aproveitamento energético. G.F. Pinheiro; G. Rendeiro; J.T. Pinho. Biomassa & Energia 1(2): 199 – 208. (2004)

http://www.renabio.org.br/09-B&E-v1-n2-2004-199-208.pdf

Custo ecológico do uso integral de recursos florestais para fins energéticos. J.R. Almeida; M.B. Almeida; L.A. Aguiar; A.R. Aquino; M.C.C. Coelho. Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento 6(1): 23 – 29. (2004)

http://repositorio.ipen.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7615/10870.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Características da madeira de seis espécies de eucalipto plantadas em Colombo-PR. J.C.D. Pereira; P.P. Mattos; E.G. Schaitza. Embrapa Florestas. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento nº 15. 17 pp. (2003)

http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/281005/1/digitalizar0022.pdf

Controle de combustão em fornalhas a lenha. R.P. Lopes; D. Oliveira Filho; S.M.L. Donzeles; W.P.M. Ferreira. Atas do 3º Encontro de Energia no Meio Rural. (2003)

http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000200023&script=sci_arttext

Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* em resposta à adubação e ao espaçamento. S.N. Oliveira Neto; G.G. Reis; M.G.F. Reis; J.C.L. Neves. Revista Árvore 27(1): 15-23. (2003)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v27n1/15917.pdf

Balanço e rendimento energéticos de uma indústria integrada de base florestal. M.SA. Brand; D.A. Silva; G.I.B. Muñiz; U. Klock. Floresta e Ambiente 9(1): 45 – 53. (2002)

http://www.floram.org/files/v9n%C3%BAnico/v9nunicoa6.pdf

Florestas plantadas para energia: aspectos técnicos, socioeconômicos e ambientais. L. Couto; M.D. Müller; A.A. Tsukamoto Filho. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 13 pp. (2002)

http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=19

Geração de energia elétrica em pequena escala utilizando ciclos a vapor e lenha como combustível. R.C. Carpio; F.N. Teixeira; E.S. Lora. Anais do IV Encontro de Energia no Meio Rural. 04 pp. (2002)

http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v2/076.pdf

Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. A.T. Vale; M.A.M. Brasil; A.L. Leão. Ciência Florestal 12(1): 71 – 80. (2002)

http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1702

e

http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1702/977

Simulação de sistemas térmicos de potência para geração de energia elétrica. A.E.C. Paz. Dissertação de Mestrado. UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 192 pp. (2002)

http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1873/000360649.pdf?sequence=1

Energy cost reduction in the pulp and paper industry. D.W. Francis; M.T. Towers; T.C. Browne. PAPRICAN - Pulp and Paper Research Institute of Canada. 30 pp. (2002)

https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/oee/pdf/publications/infosource/pub/cipec/pulp-paper-industry/pdf/pulp-paper-industry.pdf (em Inglês)

Estudo termodinâmico e análise de custos da ampliação de um sistema de cogeração de energia em uma destilaria de cana de açúcar. E.F. Jaguaribe; P.C. Lobo; J.R. Lima Neto; W.L. Souza; F.A.A. Rocha. IX Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas. 09 pp. (2002)

http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/encit/2002/Paper-title/24/CIT02-0240.PDF

Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento. I.C. Macedo. CGEE – Centro de Gestão de Estudos Estratégicos. 11 pp. (2001)

http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo003_02.pdf

Secagem e armazenagem de café. J.S. Silva et all. UFV – Universidade Federal de Viçosa. (2001)

ftp://www.ufv.br/poscolheita/LIVRO%20SECAGEM%20E%20ARMAZENAGEM%20DE%20CAFE/prefacio.pdf

e

ftp://www.ufv.br/poscolheita/

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

Alternativas para a cogeração de energia em uma indústria de chapas de fibra de madeira. V.B. Pereira Júnior. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 101 pp. (2001)

http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90700/pereirajunior_vb_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. P.S.S. Leles; G.G. Reis; M.G.F. Reis; E.J. Morais. Scientia Forestalis 59: 77-87. (2001)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr59/cap06.pdf

A guide to energy savings opportunities in the kraft pulp industry. AGRA Simmons. PAPTAC – Pulp & Paper Technical Association of Canada. 181 pp. (2000)

http://www.paptac.ca/images/stories/PDF/ListePublications.pdf (em Inglês – Vide página 12)

Produtividade e equivalência energética de *Eucalyptus* sp. em relação ao óleo combustível e à energia elétrica. C.R. Lima. Anais do 3º Encontro Energia no Meio Rural. 09 pp. (2000)

http://www.nipeunicamp.org.br/agrener/anais/2000/1_7.pdf

Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. J.C.D. Pereira; J.A. Sturion; A.R. Higa; R.C.V. Higa; J.Y. Shimizu. Embrapa Florestas. Série Documentos nº 38. (2000)

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/doc38ID-Mw8eMekWla.pdf

Energy from biomass: a review of combustion and gasification technologies. P. Quaak; H. Knoef; H.E. Stassen. World Bank. 78 pp. (1999)

https://books.google.com.br/books?id=M2WMrePlIxkC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false (em Inglês)

Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do estado do Rio de Janeiro. A.M. Andrade; L.M. Carvalho. Floresta e Ambiente 5(1): 24 – 42. (1996)

http://www.if.ufrrj.br/biolig/art_citados/Potencialidades%20energ%C3%A9ticas%20de%20oito%20esp%C3%A9cies%20florestais%20do%20estado%20do%20Rio%20de%20Janeiro.pdf

Experiências de geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: Aspectos técnicos e econômicos. L.A.H. Nogueira; A.C.S. Walter. In: Memoria - Reunión Regional sobre Generación de Electricidad a partir de Biomasa. FAO – Food and Agriculture Organization. (1996)

http://www.fao.org/docrep/T2363S/T2363S00.htm (em Espanhol)

Generación eléctrica a partir de combustibles vegetales: Aspectos técnicos, económicos y ambientales. M.A. Trossero. In: Memoria - Reunión Regional sobre Generación de Electricidad a partir de Biomasa. FAO – Food and Agriculture Organization. (1996)

http://www.fao.org/docrep/T2363S/T2363S00.htm (em Espanhol)

Uso de biomassa florestal para geração elétrica em grande escala: O projeto "WBP-SIGAME" brasileiro. L.A.H. Nogueira. In: Memoria - Reunión Regional sobre Generación de Electricidad a partir de Biomasa. FAO – Food and Agriculture Organization. (1996)

http://www.fao.org/docrep/t2363s/t2363s0m.htm

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

Estudo energético e econômico de um sistema de cogeração associado à indústria de celulose. J.L. Silveira. O Papel (Fevereiro): 47 - 51. (1994)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/17_estudo%20energ%E9tico%20cogera%E7%E3o.pdf

e

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1994_Estudo_Cogeracao.pdf

Análise de auto-suficiência e excedentes em indústria de papel e celulose empregando turbina de condensação e extração. J.L. Silveira; J.A.P. Balestieri. 23º Congresso Anual da ABTCP. p. 765 - 775. (1990)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/37_turbinas%20de%20vapor.pdf

e

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1990_Turbinas_de_vapor.pdf

Sistema de secagem de biomassa – combustível alternativo para caldeiras auxiliares e fornos de cal. F.L.C. Lima. O Papel (Outubro): 49 – 59. (1988)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1988_Secagem_biomassa.pdf

Effect of lignin content and extractives on the higher heating value of wood. R.H. White. Wood and Fiber Science 19(4): 446 – 452. (1987)

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1987/white87a.pdf (em Inglês)

Uso integral da floresta para fins energéticos. A.W.V. Castro. EMBRAPA – UEPAE de Porto Velho. Documentos 17. 17 pp. (1987)

http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=ACERVO.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=062042

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

Otimização energética de caldeira a lenha através da pré-secagem de cavacos utilizando gases efluentes da combustão. R.A. Peixoto; L. Amaral Jr. 19º Congresso Anual da ABTCP. p. 381-401. (1986)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/34_secagem%20biomassa%20para%20caldeira%20for%E7a.pdf

e

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1986_Secagem_biomassa_caldeira.pdf

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

Quantificação de resíduos florestais para produção de energia em povoamento de *Eucalyptus saligna*. H.T.Z. Couto; J.O. Brito; M. Tomazello Filho; L. Corradini; E.C.M. Fazzio. IPEF 26: 19 – 23. (1984)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr26/cap03.pdf

Quantificação para fins energéticos da biomassa florestal de povoamentos de *Eucalyptus saligna* de primeira e segunda rotação. C.A. Busnardo; J.V. Gonzaga; E.P. Benites; I. Borssatto. 17º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel 1: 267-295. (1984)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/10_Quantificacao%20energetica%20e.saligna.pdf

A lenha e seus derivados no balanço energético do Rio Grande do Sul. FEE – Fundação de Economia e Estatística. 62 pp. (1984)

http://catcrd.bn.br/scripts/odwp032k.dll?t=nav&pr=bec_pr&db=bec&use=pb&rn=3&disp=card&sort=off&ss=22422328&arg=cenergs

Biomassa florestal. E. Merlin. O Papel (Julho): 65 – 68. (1984)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1984_Biomassa_Klabin.pdf

Umidade ao abate da madeira e da casca de *Eucalyptus grandis*. C.A. Busnardo; J.V. Gonzaga; S. Menochelli; E.P. Benites; C. Dias; C.E.B. Foelkel. 4º Congresso Florestal Brasileiro. Silvicultura 28: 749 - 753. (1983)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/18_Umidade%20abate%20madeira%20e%20casca%20eucalyptus%20grandis.pdf

Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de eucalipto. J.O. Brito; L.E.G. Barrichelo; F. Seixas; A.J. Migliorini; M.C. Muramoto. IPEF 23: 53 – 56. (1983)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr23/cap08.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

Firewood crops. Shrub and tree species for energy production. Volume 2. National Academy of Sciences. 108 pp. (1983)

http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAP479.pdf (em Inglês)

Alternativas energéticas na Aracruz Celulose. S. Polowski; F. Valério. 15º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 17 pp. (1982)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1982_Energeticos_Aracruz.pdf

Utilização da biomassa florestal para geração de energia. I: Situação geral e uso de resíduos. C.A. Busnardo. Monografia. Riocell – Rio Grande Companhia de Celulose do Sul. 61 pp. (1981)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1981_Monografia_Busnardo.pdf

Novas técnicas de espaçamentos para *Eucalyptus spp.* G.C. Rezende; W. Suiter Filho; C.J. Mendes; T.S.A. Morais. Circular Técnica IPEF nº 130. 08 pp. (1981)

http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr130.pdf

Carvão de lignina: subproduto da hidrólise ácida da madeira do eucalipto. C.E.B. Foelkel; C. Zvinakevicius; J.M. Carolino; D.L. Pimenta. O Papel (Março): 51 – 54. (1981)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/Carv%e3o%20de%20lignina_%20subproduto%20da%20hidr%f3lise%20%e1cida%20da%20madeira%20do%20eucalipto.pdf

Firewood crops. Shrub and tree species for energy production. Volume 1. National Academy of Sciences. 237 pp. (1980)

http://stoves.bioenergylists.org/usaidfuelwood (em Inglês)

e

http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnaaj273.pdf (em Inglês)

O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. E.A. Balloni; J.W. Simões. IPEF Série Técnica 1(3): 01-16. (1980)

http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr03/cap01.pdf

Serragem de madeira ao forno de cal: uma opção para economia de energia. C.A. Busnardo; P.E.D. Varante; F.R. Barreto Neto; W.E. Luders; A.L. Raffin; F. Puig; C.E.B. Foelkel. 13º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p.: 225 – 237. (1980)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/35_serragem%20madeira%20ao%20forno%20de%20cal%20busnardo.pdf

Secagem a contrapressão. Um novo sistema para secagem de combustíveis de madeira em substituição ao petróleo. T. Olson. 13º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p.: 257 - 263. (1980)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1980_Secagem_biomassa.pdf

Anais do Seminário "Abastecimento energético industrial com recursos florestais". Séria Técnica IPEF Edição nº 2. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. (1980)

http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr02.asp#_blank

Crescimento e produção de madeira de eucalipto. J.W. Simões; A.S.R. Coelho; H.A. Mello; H.T.Z. Couto. IPEF 20: 77 – 97. (1980)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr20/cap05.pdf

Florestas para fins energéticos e ciclagem de nutrientes. F. Poggiani. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Série Técnica 1(2): D1 – D11. (1980)

http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr02/cap04.pdf

Exploração e rendimento de florestas de ciclo curto objetivando a produção de carvão e energia. G.C. Rezende; W. Suiter Filho; C.J. Menezes; P.F. Castro. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Circular Técnica nº 96. 12 pp. (1980)

http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr096.pdf

Possíveis reflexos na indústria de celulose e papel pela utilização generalizada da madeira como fonte de energia. A.F. Lima; A.A.S. Camargo; J.M. Neves; M.C.S. Jordão; R.M.V. Assumpção. 12º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 18 pp. (1979)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1979_Cenarios_uso_energetico_madeira.pdf

Utilização de casca de madeira como combustível auxiliar em forno de cal. E.S.B. Merlin. 12º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 09 pp. (1979)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1979_Biomassa_Klabin_Forno.pdf

Tecnologia para queimar madeira. G.N.E. Krogh. O Papel (Novembro): 105 – 108. (1979)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1979_Krogh_Queima_madeira.pdf

Avaliação das características dos resíduos de exploração florestal do eucalipto para fins energéticos. J.O. Brito; L.E.G. Barrichelo; H.T.Z. Couto; E.C.M. Frazzio; L. Corradini; M.A. Carrara; A.J. Migliorini. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Circular Técnica nº 62. 07 pp. (1979)

http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr062.pdf

Madeira: realidade energética. H.A. Mello. O Papel (Novembro): 114-118. (1979)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1979_Realidade_nacional.pdf

Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia. J.O. Brito; L.E.G. Barrichelo. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Circular Técnica nº 52. 07 pp. (1979)

http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr052.pdf

Economic analysis of wood- or bark-fired systems. T.H. Ellis. U.S.D.A. Forest Products Laboratory. Gen. Tech. Rep. FPL-16. 24 pp. (1978)

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr16.pdf (em Inglês)

Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. J.O. Brito; L.E.G. Barrichelo. IPEF 16: 63 – 70. (1978)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr16/cap05.pdf

Redução dos custos de energia na indústria de papel e celulose. O pátio de madeira como exemplo especial. Andritz. 10º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p.: 223 – 227. (1977)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1977_Patio_madeira.pdf

Seminário "Floresta – Potencial energético brasileiro". Revista Silvicultura Edição 7. SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura. 192 pp. (1977)

http://www.celso-foelkel.com.br/Materiais_Eventos_SBS.html

e

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/07_Silvicultura_Conteudo_Edicao07.pdf

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

Introduction to thermal analysis in the combustion of wood. F.C. Beall. Wood Science 5(2): 102 – 108. (1972)

https://www.researchgate.net/publication/280963029_Introduction_to_thermal_analysis_in_the_combustion_of_wood (em Inglês)

Thermal reactions and industrial uses of bark. S. Chow. Wood and Fiber 4(3): 130 - 137. (1972)

http://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/download/941/941 (em Inglês)

A guide to small-scale wood fuel (biomass) heating systems. South West Woodland Renaissance. Forestry Comission England. 24 pp. (SD = Sem referência de data)

https://www.cse.org.uk/pdf/guide%20to%20small-scale%20wood-fuelled%20heating.pdf (em Inglês)

Aproveitamento energético de biomassa. P. Brito; L. Rodrigues; A. Oliveira. Centro Interdisciplinar de Investigação e Inovação. Instituto Politécnico de Portalegre. Portugal. 11 pp. (SD = Sem referência de data)

http://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/2094/1/Aproveitamento%20energ%C3%A9tico....pdf

Aproveitamento energético de resíduos e biomassa. R.C. Perdoná. Odebrecht Agroindustrial. Apresentação em PowerPoint: 30 slides. (SD = Sem referência de data)

http://www.crq4.org.br/sms/files/file/aproveitamento_biomassa_perdona_odebrecht.pdf

Utilização energética de resíduos vegetais. W.F. Quirino. LPF – Laboratório de Produtos Florestais. LPF/IBAMA. 35 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/aproveitamento.pdf

Utilização energética de resíduos vegetais. Resíduos vegetais – Madeira - Energia. W.F. Quirino. LPF – Laboratório de Produtos Florestais. LPF/IBAMA. 16 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.lippel.com.br/lippel/uploads/downloads/05-05-2014-11-39utilizacao-energetica-de-residuos-florestais.pdf

Valorização dos resíduos sólidos orgânicos no município de Florianópolis através de beneficiamento dos resíduos de podas.

Prefeitura Municipal de Florianópolis. 28 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/16_08_2012_13.03.51.d5fc44d7dfc02f3564e4f890792ae489.pdf

Gerenciamento de resíduos de madeira industrializada na construção civil. IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. 06 pp. (SD = Sem referência de data)

http://iba.org/images/shared/Cartilha-Gerenciamento-de-Residuos.pdf

Controle das emissões atmosféricas da combustão da biomassa. T.A. Pacheco. Vortex Consultoria Industrial. 12 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.vortexindustrial.com.br/media/DIR_25601/1fc0282151a9e37fffff866dffaf2815.pdf

Determinação das propriedades energéticas de resíduos de madeira em diferentes períodos de armazenamento. M.A. Brand; V.J. Costa; A. Durigon; M. Amorim. Tractebel Energia. 07 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.tractebelenergia.com.br/wps/wcm/connect/304a87b4-66c9-4dbc-9494-b4e6896c4328/numero3.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=304a87b4-66c9-4dbc-9494-b4e6896c4328

e

http://www.tractebelenergia.com.br/wps/wcm/connect/55d0b330-f0f8-437b-b128-dd9ba262aaaf/0403-018-2004_art.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=55d0b330-f0f8-437b-b128-dd9ba262aaaf

Eucalipto: realidade energética em Alagoas. Estudo Setorial. Log Estratégia. 75 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.logestrategia.com.br/cms/assets/uploads/_PUBLICACOES/_PDF/f405e06001c8252b3108fbe5773d33d5_EUCALIPTO%20FINAL.pdf

The experience of Brazilian pulp and paper industry in reducing fuel oil consumption. C.E.B. Foelkel; G. Krogh. PPI – Pulp and Paper International. 14 pp. (sem referência de data)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/SD_Foelkel_Krogh_Brazilian_experience.pdf (em Inglês)

Compra de madeira energética. C. Foelkel. Pergunte ao Euca Expert. Pergunta 931. 04 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/931_Madeira%20energetica.pdf

Poder calorífico da madeira de teca. C. Foelkel. Pergunte ao Euca Expert. Pergunta 923. 03 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/923_Poder%20calorifico%20madeira%20de%20teca.pdf

Poder calorífico do eucalipto. C. Foelkel. Pergunte ao Euca Expert. Pergunta 654. 03 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/Pergunta%20654.doc

Poder calorífico do licor. C. Foelkel. Pergunte ao Euca Expert. Pergunta 12. 04 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/Pergunta%2012.doc

Propriedades da madeira para fins de energia – Poder calorífico e combustão. Laboratório Energia de Biomassa. UFPR – Universidade Federal do Paraná. Apresentação em PowerPoint: 23 slides. (SD = Sem referência de data)

http://www.labenergiabiomassa.ufpr.br/wp-content/uploads/2014/08/Propriedades-da-Madeira-para-energia-Poder-calorifico.pdf

PDIS – Biomassa e cogeração. A.S. Dias; R.N.F. Neves; F.G.G. Mesquita; L.G.A.V. Silva. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. 23 pp. (SD = Sem referência de data)

http://paginas.fe.up.pt/~ee02035/Biomassa_e_Cogeracao.pdf

Aplicações água quente e vapor. ASCA. 06 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.ascoval.com.br/literatura/FluidControl/31B/catalogo/aplicacao-agua-quente-vapor.pdf

Reuso de água na cogeração de energia. A. Rothbarth. 07 pp. (SD = Sem referência de data)

http://docplayer.com.br/15180404-Reuso-de-agua-na-cogeracao-de-energia.html

Correlação entre características da biomassa para geração de vapor em uma caldeira. M.C. Rosa; E.D. Oliveira Júnior. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal. 10 pp. (SD = Sem referência de data)

http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/dFs369avdGLfgb8_2014-4-16-15-54-35.pdf

Futuro da biomassa no Brasil - Potencial de biomassa florestal e industrial e o desenvolvimento de projetos industriais sustentáveis. C. Oliveira. Porthus Eventos. (SD = Sem referência de data)

http://www.porthuseventos.com.br/congresso_biomassa/Celso_Oliveira.pdf

Plantios adensados são causadores de danos ambientais graves. C. Foelkel. Pergunte ao Euca Expert. Pergunta nº 646. (s/d = Sem referência de data)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/Pergunta%20646.doc

Leitura complementar sugerida:

Artigo extraído de Eucalyptus Newsletter
Edição número 33. Fevereiro de 2011

Artigo Técnico por Celso Foelkel

Plantios Adensados de Eucaliptos:

Será que esse novo modelo de silvicultura pode apresentar adequada sustentabilidade?

O setor florestal brasileiro, que se baseia em plantações de eucaliptos, conseguiu desenvolver nas últimas décadas, através de muita pesquisa e de estudos científicos, um modelo de silvicultura de alta produtividade com excelentes qualidades econômicas, ambientais e sociais. Mesmo para as plantações de relativamente curta rotação (seis a oito anos) e manejadas por talhadia com corte raso, as florestas de eucalipto apresentam excelentes performances nos principais indicadores de sustentabilidade. Isso é atestado pelas inúmeras certificações de bom manejo florestal e de cadeia-de-custódia, que foram conquistadas e mantidas pelas empresas líderes do setor florestal no País.

Sabemos que todas as atividades antrópicas de grande magnitude, como é o caso de extensas áreas de reflorestamento para uso industrial de seus produtos, podem apresentar impactos ambientais, alguns positivos e outros negativos, sendo que esses últimos precisam ser mitigados. Há efeitos importantes no uso de recursos naturais, tais como solo, água e luz, além dos efeitos na biodiversidade. Isso é inquestionável, mas é também motivo de desafio constante para os técnicos e acadêmicos do setor em busca de modelos de adequados níveis de sustentabilidade.

Em função disso, conseguiram-se desenvolver modelos de manejo silvicultural em que os impactos negativos foram minimizados ou compensados e os efeitos positivos, maximizados. Melhor que isso, há modelos implementados para produção de madeira para serraria e PMVA (Produtos de Maior Valor Agregado) com excepcionais performances ambientais, como é o caso do manejo por alto fuste com desbastes intermediários em rotações longas de 15 a 25 anos. Nesses casos, minimiza-se a ação do homem sobre o ecossistema e a floresta cresce, dá seus produtos e conserva e restaura muitas das variáveis ambientais críticas.

Em atividades de plantações de florestas, as ações mais drásticas ocorrem nas operações de plantio e de colheita florestal. Enquanto a floresta cresce sozinha e faz fotossíntese, as atividades humanas são mínimas. Isso acontece durante a rotação, que atualmente nas plantações tradicionais de eucalipto varia entre 6 a 20 anos, conforme o objetivo desejado para a plantação. As coisas acontecem dessa forma porque as atividades operacionais podem desestruturar e/ou compactar o solo, desnudar a sua superfície da terra, favorecer a oxidação da matéria orgânica, aumentar a erosão pelas gotas de chuva ou pelas enxurradas, impactar a microvida do solo e a sua biologia, etc. Enfim, há impactos sobre a física, química e biologia do solo. A cada movimentação intensa causada na área florestal por ação antrópica, maiores serão os efeitos ambientais negativos e maiores as chances de termos prejuízos na sustentabilidade da qualidade produtiva do sítio florestal e dos ecossistemas adjacentes. Também, a cada nova formação de florestas plantadas, temos aplicações de agroquímicos, tais como inseticidas, formicidas, herbicidas e fertilizantes, que também podem causar impactos relevantes.

A conclusão sábia e objetiva que qualquer técnico florestal consegue tirar desses fatos é que a sustentabilidade florestal é mais facilmente alcançada pelo prolongamento da rotação da floresta plantada. Com isso, ficam favorecidas as condições para que os ciclos hidrológicos e biogeoquímicos ocorram de forma mais balanceada e com poucos distúrbios. Com isso, as maravilhosas mágicas naturais, tais como a ciclagem de nutrientes no ecossistema, a estocagem de carbono orgânico na floresta e no solo, o desenvolvimento da biologia do solo e a saúde da flora e fauna serão todas magnificadas. Isso nos garantirá maior tranquilidade e certeza de que as futuras gerações de florestas ou os outros usos desses solos não serão prejudicados. Também sabemos que o manejo florestal pode ser otimizado e com minimização de interferências nos ecossistemas através dos inúmeros experimentos implementados para monitoramento de microbacias em áreas reflorestadas com eucaliptos.

Florestas plantadas são ecossistemas até certo ponto simples e que têm a capacidade de interagir dinamicamente com os recursos naturais a elas fornecidos, sendo que isso é afetado pelo tipo de manejo florestal aplicado pelos técnicos. Na verdade, as florestas plantadas nada mais são do que conjuntos organizados de árvores da mesma espécie ou até do mesmo genoma (povoamentos monoclonais). Elas são assim estruturadas de forma a produzirem um resultado em benefício dos usuários de seus produtos, o mais comum desses produtos sendo a madeira. Essas árvores melhoradas e plantadas em condições de altas tecnologias (desenvolvidas por pesquisa e muita ciência) são extremamente eficientes para usar os insumos oferecidos e para formar matéria orgânica. Com muita competência e eficiência, elas absorvem o gás carbônico da atmosfera, utilizam a energia da luz solar e a água do solo e produzem matéria orgânica, que vão armazenar em seus diversos compartimentos, tais como raízes, copa, casca e lenho do tronco. Quanto mais ecoeficiente for a floresta, melhor ela fará isso, com mínima utilização de insumos (nutrientes, água, energia, etc.) por tonelada de material orgânico formado. Essa produtividade florestal com mínima utilização de recursos naturais é muito afetada pela tecnologia florestal empregada e pelo tipo de manejo adotado.

Um novo modelo de silvicultura vem sendo debatido, estudado e implementado nos últimos anos. Esse modelo altera drasticamente tanto a população de árvores por hectare (aumentando) como o tempo de rotação da floresta (diminuindo). Nos modelos até recentemente praticados para produção de madeira para celulose e papel, lenha, painéis de madeira, carvão vegetal, produtos de maior valor agregado, etc., a população inicial de árvores plantadas tem variado entre 830 a 2.500 por hectare. Isso tem colocado um espaço vital de área de terra de cerca de 4 até 12 metros quadrados por árvore.

Os modelos florestais, que atualmente vêm sendo denominados de "plantios adensados" ou de "florestas energéticas adensadas para produção de biomassa", têm como meta a máxima produção de matéria orgânica por hectare, e isso em curtos espaços de tempo. São plantadas cerca de 5.000 (espaçamento 3m x 0,67m); 6.667 (espaçamento 3m x 0,5m) a 7.143 (2,8m x 0,5m) árvores por hectare para colheita por corte raso total aos 24 a 36 meses. Com isso, cada árvore passa a dispor de apenas 1,4 a 2 metros quadrados para crescer de forma apertada e esbarrando umas às outras desde suas mais tenras infâncias. O objetivo é a máxima produção de biomassa no menor espaço de tempo possível. Essa biomassa será em geral utilizada para gerar energia em caldeiras de força ou para produção de péletes ou briquetes energéticos para venda doméstica ou a nível internacional (exportações).

Essa nova onda de produção massiva de biomassa florestal (e também agrícola) vem sendo incentivada e apoiada pelos governos de inúmeros países, os quais buscam substitutos aos combustíveis fósseis. Há muita gente grande acreditando nisso e colocando dinheiro grosso para produção de biomassa energética, até imaginando que estarão fazendo um enorme bem para o planeta Terra. O problema maior é que as pesquisas sobre plantações florestais adensadas são praticamente inexistentes. Pouco conhecemos sobre seus impactos, sejam no curto, médio ou longo prazos. Foi por essa razão que decidi escrever essas reflexões que possam servir de base para um maior diálogo sobre esse novo e até mesmo potencialmente perigoso modelo florestal. Sem um adequado manejo e proteção dos ecossistemas, poderemos estar usando recursos naturais de forma muito agressiva e prejudicando a sustentabilidade duramente conquistada pelo setor brasileiro de florestas plantadas até os dias presentes.

Em muitas situações no mundo de hoje, os burocratas do poder público vêm colocando à disposição de investidores dinheiro de financiamento a custo baixo. Eles querem trocar o modelo energético do petróleo para a biomassa; e querem fazer que isso aconteça logo. Por sua vez, os investidores são atraídos pelo dinheiro barato e pelas novas oportunidades desse negócio florescente. Mergulham nisso sem avaliar ou refletir sobre a fundamentação científica e teórica do novo modelo em relação à sua sustentabilidade. Sequer avaliam outras opções, o dinheiro existe para isso, o mercado futuro é atrativo e ponto final, todos vão em frente, sem hesitações.

Espero, com essas reflexões, colocar alguma luz para impedir que nossa silvicultura do eucalipto, que cresceu e se desenvolveu na busca de operações sustentáveis, mergulhe de cabeça em algo que deixe a desejar em termos de sustentabilidade ambiental. Pelo menos, se decidirem fazer isso, que busquem na ciência e na pesquisa os mecanismos que minimizem os impactos negativos sobre o solo, recursos hídricos, biologia dos ecossistemas, etc. Um manejo de baixa qualidade ambiental seria um desastre para a eucaliptocultura brasileira, pois seus reflexos poderiam se propagar por todas as cadeias produtivas que se valem da madeira das florestas plantadas desse gênero de árvores.

O fator tecnológico capaz de regular a densidade populacional de uma floresta plantada é exatamente o espaçamento entre as árvores. Quando temos abundância de insumos naturais e mesmo artificialmente adicionados, tais como água, nutrientes, luz, etc. podemos colocar mais indivíduos por hectare. Entretanto, se temos escassez desses fatores de produção, caso faltar algo, a floresta vai logo sentir essa carência. Temos então que prover essas demandas através de meios tecnológicos, como fertilização, irrigação, etc. Sábio foi nosso grande autor literário brasileiro,

Machado de Assis, em seu famoso livro "Quincas Borba", ao analisar o que pode acontecer na carência de alimentos (no caso, batatas) para populações concorrentes. Em excesso de gente, se não há alimentos suficientes, a solução é competir por eles, mesmo que isso possa representar uma guerra sangrenta. Relata o autor que nessas situações, "quem deveria ficar com as batatas seriam os vencedores", aniquilando então os mais fracos. Dividir as batatas seria a morte para todos.

O objetivo do espaçamento seria colocar na área florestal uma população de plantas que consiga crescer uniformemente e sem que ocorra uma competição a ponto de causar dominação intensa, ou mesmo morte, das plantas mais fracas. No passado, antes de se terem os plantios clonais, as árvores originadas de sementes eram muito irregulares. Em espaçamentos apertados, "as batatas eram muito disputadas" e muitas das plantas mais fracas até mesmo morriam antes do término da rotação. A baixa sobrevivência e a alta irregularidade eram, até os anos 80's, as características de praticamente todas as tentativas feitas com plantios adensados de eucaliptos. Nosso estimado amigo e amigo dos eucaliptos, Dr. Laércio Couto, um dos mais entusiasmados defensores dos plantios adensados de eucaliptos, advoga que os plantios clonais resolveram esse problema, pelo menos na primeira rotação. Faltariam ainda mais estudos para as rotações seguintes manejadas pela condução da brotação das cepas do clone após a colheita do povoamento original.

Até recentemente, o principal produto objetivado da floresta plantada era sua madeira, que poderia ser na forma de toras grossas e obtidas em rotações mais longas (para serraria); ou de toras mais finas, com rotações mais curtas, mas suficientes para fornecerem árvores de no mínimo 0,2 metros cúbicos cada (para celulose e papel, carvão vegetal, painéis de madeira, etc.).

Com a crescente demanda europeia e norte-americana por biomassa energética, as florestas plantadas passaram a serem vistas como produtoras não apenas de madeira, mas de biomassa, não importando muito em que forma essa biomassa possa estar (casca, folhas, galhos, ponteiros e madeira). Até mesmo as raízes passaram a ser cobiçadas. Já para alguns técnicos florestais inescrupulosos e sedentos de biomassa, até a manta de folhas e ramos depositados pela floresta sobre solo na forma da conhecida serapilheira passou a ser varrida, empacotada e levada para a produção de energia. Imaginem a desgraça que isso pode representar, com toda a biomassa rica em nutrientes e carbono orgânico sendo simplesmente rapada do solo para ser convertida em cavacos e/ou péletes e briquetes energéticos. Quais os impactos que poderemos ter no médio e longo prazo sobre a ciclagem de nutrientes e sobre a riqueza dos solos, seja biológica, química ou física? Até que ponto já temos estudos

científicos para garantir sustentabilidade a esse novo modelo de silvicultura voltado para a produção de biomassa em curtas rotações?

Sem querer alarmar nossos leitores e tampouco apresentar um cenário de desgraças, vou procurar nesse artigo, a partir de agora, colocar uma série de questionamentos técnicos e algumas considerações próprias e apropriadas de minhas reflexões sobre o tema. Isso levando em conta minha experiência eucalíptica e a leitura que fiz dos estudos disponíveis sobre a temática. Há muita ansiedade no ar, inclusive de minha parte. As autoridades ambientais, os auditores dos sistemas de certificação florestal, os investidores e a própria sociedade precisam estar conscientes de que essas mudanças poderão representar alterações profundas na nossa silvicultura atual. Até que ponto estaremos dispostos a aceitá-las antes de termos adequados mecanismos para lhes garantir o mesmo nível de sustentabilidade dos manejos tradicionais? Estou me referindo àqueles baseados em cortes rasos de populações de cerca de 1.000 a 1.600 árvores por hectare e em colheitas entre os 6 e 8 anos em diversas regiões de nosso País.

Fica difícil para mim lhes colocar todas essas ansiedades na forma de um artigo técnico. Talvez eu conseguisse lhes escrever um livro, ou um bom e longo capítulo acerca desse assunto, mas não seria o caso agora. Por essa razão, vou lhes apresentar meus questionamentos e tentativas de reflexões, que são na verdade fruto das mesmas preocupações que estão surgindo no setor florestal brasileiro que se baseia em florestas plantadas de eucaliptos. Serão 17 questionamentos, começando pelos mais genéricos, passando pelos temas ambientais, econômicos e sociais, tudo exatamente como prega o bom conceito de sustentabilidade.

Questionamento 01: Afinal, qual o objetivo do plantio adensado?

Entendo, por tudo que tenho lido e escutado sobre plantios adensados, que seu objetivo é a máxima produção (idealmente de forma sustentável) de biomassa energética por hectare de plantação florestal. Espera-se atingir essa meta por máximo uso da área florestal (sítio) e em curtíssimas rotações, plantando-se florestas como culturas agrícolas de ciclo curto. Com isso, os plantadores dessas florestas esperam antecipar as produções e as receitas econômicas. As técnicas de manejo relatadas mostram plantios densos, para serem colhidos com idades entre 24 a 36 meses. Os produtos desses plantios deverão ser a madeira e a casca dos troncos das árvores, que nessas idades correspondem juntos a cerca de 70 a 80% do peso seco de biomassa aérea das florestas. Os restantes 20-25% correspondem a folhas (cerca de 6-8%) e galhos (cerca de 12-18%).

Ainda que nossos cientistas venham advogando o uso apenas da madeira para minimizar a exportação de nutrientes e seus impactos na fertilidade do solo, torna-se difícil entender como essas toras finas serão desgalhadas e descascadas. Também, fica difícil acreditar que produtores de biomassa vão deixar de lado tanto material combustível como casca, galhos, ponteiros, folhas, etc. Essa é para mim a mais dura e cruel realidade - apesar dos estudos da academia estarem propondo o uso apenas da madeira, muitos produtores certamente não irão se contentar só com isso e gastar inclusive muito mais para separação dessa madeira do restante da biomassa aérea e igualmente combustível. Logo, a conclusão óbvia é que a meta dos plantios adensados deverá ser o uso de praticamente toda a biomassa aérea das árvores florestais assim plantadas. Em alguns casos, até mesmo a serapilheira poderá ser rapinada, um crime ambiental de grande magnitude, se isso vier a acontecer. Espero sinceramente que não, e que a produção de biomassa florestal possa ser praticada de forma sustentável. *Estou inclusive orando por isso.*

Questionamento 02: Qual a produtividade esperada para os plantios adensados?

Alguns estudos publicados sobre isso mostram que, aos 24 meses de idade, plantios clonais de eucaliptos adensados conseguem produzir por hectare e com essa idade cerca de 40 a 45 toneladas de biomassa seca na forma de madeira, para um total de biomassa seca aérea de 60 a 65 toneladas. Se a opção for de toras com casca, a produção estaria entre 46 a 52 toneladas secas por hectare aos 24 meses. Fica claro, para quem é bom entendedor, que qualquer que seja o produtor de biomassa, se ele for aproveitar só a madeira, estará deixando no campo cerca de 20 toneladas de biomassa para suas 40 toneladas de produto. Se for aproveitar madeira mais casca, a produção passaria a quase 50 toneladas secas por hectare. Já se ele estiver interessado em toda a biomassa aérea, passaria a obter 60 toneladas secas por hectare. Isso seria 45% a mais do que o valor obtido só em madeira.

Amigos, como esperar que o produtor de biomassa resista a esse "desperdício de material e de renda?”

Questionamento 03: As biomassas de casca, madeira, folhas e galhos são igualmente eficientes em termos energéticos?

A melhor biomassa para geração de energia é a da madeira, que é mais rica em lignina e em carbono orgânico. A mistura de outras biomassas da árvore, em especial da casca, irá prejudicar o poder

calorífico inferior da biomassa total em cerca de 5 a 8%. Entretanto, o raciocínio do produtor de biomassa será muito simples. Se ele colher toda a biomassa vai aumentar sua produção em cerca de 45% caso só colhesse a madeira. Por outro lado, a perda energética seria de 5 a 8%, apenas. Fácil imaginar a sua decisão. Até porque, pensará o produtor de biomassa, na densificação do material, pode-se produzir péletes ou briquetes com mais de 1 tonelada seca por metro cúbico de biomassa compactada. Concentra-se assim e com facilidade a energia através da tecnologia de densificação da biomassa.

Questionamento 04: Existe tecnologia florestal para colheita de árvores finas inteiras?

Para as dimensões de árvores que estamos falando, com cerca de 24 a 36 meses de idade, existem equipamentos capazes, não apenas de colher, mas de picar a cavacos toda a parte aérea da árvore, sem muito esforço.

Questionamento 05: Após a colheita da primeira rotação, como o produtor pode continuar produzindo biomassa no povoamento florestal?

Há enormes indagações e ansiedades acerca de como os povoamentos adensados e manejados por condução da brotação irão se comportar. Após um plantio clonal organizado, com árvores homogêneas em diâmetro e altura, o risco de se perder essa requerida homogeneidade é muito grande. A opção de reformar cedo o povoamento adensado é inviável em custo, pois o custo de implementação de um povoamento desse tipo é bastante alto (cerca de 5 a 6 mil reais por hectare, valores de 2.011). A condução da brotação vai demandar muita tecnologia para que o novo povoamento que virá não tenha muitas árvores dominadas, mortas e se perca, com isso, espaço de utilização do solo e da luz por formação de clareiras. Manejar a brotação por cerca de 2 a 3 ciclos seria a opção mais interessante, tanto econômica como ambientalmente. Qual a perda de produtividade que pode ser atingida? Como manter os ritmos de crescimento compatíveis com as necessárias colheitas em idades jovens? São novas descobertas que a pesquisa florestal precisa ainda fazer.

Questionamento 06: Quais as consequências ambientais e fisiológicas mais imediatas quando se adensa uma floresta plantada de eucalipto?

Ao se plantar mais árvores por hectare em espaçamentos apertados, quer-se produzir mais fotossíntese pela maior e mais rápida ocupação do espaço vital florestal. Teremos muito mais plantas, muito mais folhas e teoricamente, produzindo mais biomassa por fotossíntese. Entretanto, em pouco tempo, esses indivíduos começarão a competir entre eles de forma intensa por água e nutrientes. A competição entre 5 a 7 mil árvores por hectare será muito maior do que em florestas com cerca de 1.000 a 1.667, não é mesmo?

Quanto mais fechado o espaçamento, mais biomassa se produz logo de início, mas logo que passa a ocorrer competição por fatores vitais de produção, as árvores perderão folhas, fecharão estômatos, diminuirão crescimento, e algumas poderão até serem dominadas completamente e morrer. Por essa razão, a colheita é feita bem cedo. Deixar uma floresta assim plantada por mais tempo significará inquestionavelmente perdas de crescimento florestal e de produtividade. A capacidade de suporte ao crescimento se perde conforme aumenta a idade da floresta adensada. Um crescimento adicional poderia ser conseguido eventualmente por irrigação e multi-fertilização. Entretanto, é inquestionável o fato de que estabelecida a intensa competição entre copas e raízes, os suprimentos de luz, água e nutrientes às plantas passarão a ser prejudicados.

Os sistemas de manejo mínimo no preparo do solo do plantio adensado se baseiam em abertura de sulcos e plantios de mudas nas linhas, a cerca de 0,5 metro uma das outras nessa linha. Imaginem a enorme competição entre os sistemas radiculares tão próximos em sua busca por comida e água. As plantas vizinhas passam a buscar desesperadamente aquilo que precisam, tentando roubar o que puderem umas das outras. Essas raízes exploram com maior vontade a linha de sulcagem e nem tanto as entrelinhas. Isso em virtude do afofamento desse solo nessa linha de preparo de solo. Em solos fracos em fertilidade e em condições de déficit hídrico pronunciado, a situação de sofrimento das plantas pode se tornar desesperadora. Ainda mais que as árvores de plantios clonais adensados costumam ter raízes pouco profundas. Elas não têm tempo, genética, fisiologia e espaço para se desenvolverem com sistemas radiculares pivotantes e profundos. Por outro lado, a quantidade de raízes finas é enorme, formando um emaranhado de raízes superficiais que se sensibilizarão com facilidade, quando faltar água nas camadas superficiais do solo.

Por isso tudo, as florestas adensadas são potencialmente mais viáveis em condições de solos ricos e em regiões de chuvas bem distribuídas e abundantes (no mínimo 1.200 a 1.400 mm e com mínimo tempo de deficiência hídrica ao longo do ano).

Questionamento 07: O que vai determinar a idade de colheita do plantio adensado?

São diversos os fatores que interferem para se estabelecer o exato momento da colheita do povoamento adensado e não apenas a sua idade.

Entre eles destacam-se:

- qualidade genética do clone;
- ritmo ou taxa de crescimento;
- uniformidade do povoamento;
- espaçamento e densidade populacional;
- nível de competição entre as árvores;
- idade da floresta, etc.

Questionamento 08: Como comparar povoamentos de densidades populacionais muito diferentes?

Quando variamos o espaçamento de forma muito significativa e comparamos produtividades florestais a uma mesma idade estamos cometendo um erro técnico absolutamente grosseiro. Por exemplo, se formos comparar um plantio clonal adensado com espaçamento 3m x 0,5m com um plantio desse mesmo clone com espaçamento 3x3 metros, as conclusões sobre as produtividades e produções de ambos variarão muito se as comparações forem feitas aos 2 anos ou aos 7 anos. Fácil de enxergar isso, não é mesmo, meus caros amigos florestais?

Quando a comparação for feita aos dois anos, a floresta adensada estará em pleno vigor e com ocupação plena do sítio florestal a ela oferecido. Estará inclusive próxima ao ponto de estagnação de crescimento pela competição que se tornará cada vez mais acirrada entre as árvores. Já o plantio com espaçamento mais aberto ainda estará em processo de ocupação da área e terá nesse momento uma menor produção de biomassa. Já se a comparação for feita aos 7 anos, a floresta plantada em espaçamentos mais abertos terá tido todo seu potencial de crescimento. Estará começando a ter um aumento em sua competição e, portanto, reduzindo só agora seu incremento corrente anual. Essa floresta terá passado por um período de magníficos incrementos anuais que acontecem entre o terceiro e o quinto ano, onde valores entre 50 a 80 m^3/ha.ano ocorrem para produção de fuste e não de biomassa total. É por essa razão que um povoamento clonal de eucalipto consegue produzir 350 m^3 ou mais de fuste aos 7 anos de idade, quando plantado em

espaçamentos 3x3m, ou seja, apenas 1.111 árvores por hectare. Considerando uma densidade básica média para seu fuste (madeira mais casca) de 0,5 t/m³, teremos aos 7 anos uma produção de biomassa de fuste de 175 toneladas secas. Ou seja, 25 toneladas de fuste seco (madeira mais casca) por hectare e por ano. Absolutamente similar à que seria obtida nos plantios adensados em sua colheita aos 2 anos de idade. Lembrem-se que as expectativas de colheita de madeira com casca variam entre 46 a 52 t/ha nessa idade. Estamos falando em quantidades equivalentes de biomassa de fuste, mas são fustes muito distintos, quando colhidos aos 2 ou aos 7 anos.

Um plantio adensado fornece produção de muitas arvores finas, com muita produção associada de copa e de casca. Já um plantio aberto conduz à produção de menores quantidades de árvores grossas, com menor proporção de copa e casca. Especialmente a biomassa de casca, que é absolutamente proporcional ao diâmetro das árvores (árvores finas possuem mais casca e menos madeira no fuste).

Vejam como é fácil entender isso a partir da construção de uma tabela comparativa:

*Proporções base matéria seca	Plantio clonal adensado aos 24 meses de idade (espaçamento 3mx0,5m)	Plantio clonal tradicional aos 7 anos de idade (espaçamento 3x3m)
Produtividade média anual em fuste (madeira mais casca) (t secas/ha.ano)	23 a 26	25
Proporção de madeira na biomassa aérea total	65 – 70%	75 – 83%
Proporção de casca na biomassa aérea total	10 – 15%	7 – 9%
Proporção de fuste na biomassa aérea total	70 - 78	85 - 90%
Proporção de copa na biomassa aérea total	18 – 25%	10 – 12%

Dos dados comparativos assim apresentados, fica fácil concluir que a melhor floresta plantada para energia, em termos de sua produção e produtividade, seria aquela plantada em espaçamentos mais abertos e colhida aos 7 anos. Ela produz mais madeira e mais fuste, tem menores impactos ambientais e muito menores impactos causados pelo homem nos ecossistemas. Sua regeneração por condução da brotação seria também favorecida, pois a tecnologia é conhecida e dominada para essas situações de densidade populacional.

Questionamento 09: As árvores de plantios adensados são então muito diferentes das obtidas de plantações mais abertas?

Em função do que vimos no questionamento anterior, essas diferenças variam em função da idade de comparação. Se considerarmos comparações feitas nas idades ótimas de colheita para cada caso, teremos realmente situações bem distintas. As florestas adensadas oferecem a produção de muitas árvores de diâmetro reduzido (entre 9 a 12 cm de diâmetro na altura do peito), muito mais ricas em casca. A densidade básica da madeira de árvores nessa idade infantil também é menor do que aquela de árvores de maior idade. Isso posto, tanto os produtos como as exigências para colheita de árvores tão distintas serão também diferentes. As árvores finas são mais fáceis de serem abatidas, mas as produtividades das colheitadeiras serão impactadas pelo fato de serem muito mais árvores a colher, nada mais natural. Por isso, a necessidade de equipamentos de conceitos tecnológicos diferentes para ambos os tipos de colheitas.

Questionamento 10: Qual o impacto no IAF - Índice de Área Foliar e suas consequências?

O IAF pode ser definido como a relação entre a área total de folhas por área de terra ocupada pela floresta, seja plantada ou natural. No caso dos eucaliptos plantados em espaçamentos entre 3x2m e 3x3m, os índices de área foliar já foram bastante estudados. Sabe-se que eles atingem um valor de máximo entre idades de 2 a 3 anos e que esse valor varia entre 3,5 a 4 m^2/m^2. A seguir, em função da competição entre as copas, muitas folhas de galhos mais baixos começam a cair e o IAF se estabiliza entre valores de 2,5 a 3,2.

A produtividade florestal depende muito da área foliar, pois são as folhas que produzem a fotossíntese. Quanto mais cedo e mais rapidamente o IAF aumentar, maior será potencialmente a produção de

biomassa. Todo o conceito de povoamentos adensados se baseia nesse fato: ocupar melhor e mais rapidamente o espaço útil oferecido à floresta plantada, produzindo mais fotossíntese em árvores com mais folhas.

Entretanto, isso vai exigir um cuidadoso manejo, uma gestão eficiente e um acompanhamento técnico ímpar. Qualquer descuido técnico terá consequências sérias, como a queda de preciosas folhas devido à competição intensificada.

Acontece ainda que as folhas não fazem apenas fotossíntese. Pelos seus estômatos elas também transpiram água que absorvem do solo. Com muito mais folhas nos plantios clonais adensados, teremos dois fenômenos hidrológicos importantes ocorrendo de forma mais intensa em relação ao que ocorre nos plantios tradicionais:

- aumento da evapotranspiração;
- aumento da interceptação da chuva pelas copas (água de chuva que fica retida pelas copas e nunca atinge o solo florestal).

Em plantios convencionais de eucalipto isso já é bem conhecido, bem como seus valores determinados. Sabe-se o quanto os eucaliptos evapotranspiram, quanto eles oferecem de recarga aos lençóis subterrâneos, quanto eles interferem na chegada de água de chuva ao solo, etc. Por exemplo, a interceptação da água de chuva pelas copas está bastante associada à quantidade de folhas. Para valores de IAF entre 3,8 a 4, chegamos a ter valores entre 18 a 25% de interceptação de toda a chuva que cai na floresta no ano. Já para valores de IAF entre 2,5 a 3 a interceptação baixa para valores entre 12 a 15%. É claro que esses valores variam com a intensidade das chuvas, a arquitetura foliar, a homogeneidade da floresta, etc., etc.

As florestas adensadas mostram características muito distintas de IAF ao longo de sua rotação. Logo nos primeiros dias de plantio, o IAF é quase nulo e depois de 20 meses estará em seu máximo. Logo a seguir, a floresta é colhida e IAF cai para zero. Isso lembra muito um cultivo agrícola, com alternâncias fortes em cobertura do solo por folhas e copas. Nas situações de cobertura mínima, o solo é impactado pelas gotas de chuva e pelas enxurradas. Com muita cobertura, é a interceptação da água que chove que passa a ser o efeito negativo. Coisas antagônicas ocorrendo em pequeno espaço de tempo.

Para os plantios adensados de eucalipto, os valores típicos de IAF não são ainda muito conhecidos nessas idades entre 12 a 36 meses. Acredito que devam ficar entre 3,5 a 5, mas isso precisa ser comprovado.

As consequências já comentadas de maior transpiração e de maior interceptação das chuvas pelos plantios adensados precisam ser pesquisadas e os resultados oferecidos como subsídios para o estabelecimento de medidas mitigadoras ou compensatórias. Esses estudos devem levar em conta os diferentes tipos de solos, relevos e climas.

É, portanto, muito importante se conhecerem as condições e as limitações ambientais das regiões onde se deseja plantar eucalipto adensado. Em 1980, em um dos primeiros tratados sobre espaçamentos em eucaliptocultura no Brasil, nossos amigos Edson Balloni e João Simões recomendaram que não se plantassem florestas no bioma Cerrado em espaçamentos que resultassem em valores inferiores a 3 m²/planta, até que se desenvolvessem pesquisas sobre esses impactos e espécies adaptadas para crescimento em condições de intensa competição. Sábias reflexões de cerca de três décadas atrás. Será que alguns pesquisadores de nossos dias poderiam nos oferecer uma atualização disso para os tempos presentes?

Como devemos agir em casos de se querer introduzir plantios adensados em regiões com precipitações anuais inferiores a 1.200 mm de chuvas e com déficit hídrico pronunciado de 4 ou mais meses no ano? Por favor, se houver alguma pesquisa sobre isso, informem-me para que eu possa divulgar as conclusões e recomendações da mesma.

Questionamento 11: O que se pode esperar em relação à ciclagem de nutrientes para os plantios adensados?

Temos aqui duas situações:

- o impacto sobre a própria deposição de serapilheira e sua decomposição;
- a forma como serão gerenciados os resíduos da colheita florestal.

Em princípio, conforme o que se explorar de biomassa aérea, teremos impactos distintos: se só madeira for colhida, teremos a melhor situação ambiental; se toda a biomassa aérea, a pior.

Em relação ao folhedo e à manta orgânica, esses dois aspectos serão definitivamente afetados. Em condições de plantios tradicionais de eucalipto no Brasil, temos deposições anuais entre 3 a 6 toneladas de material seco por hectare, na forma de folhas, cascas, galhos finos, etc. Isso tem tempo de se degradar e oferecer nutrientes às raízes da floresta em crescimento e carbono orgânico ao solo. Nos plantios adensados, o

período de deposição é curto e logo a seguir a área é aberta pela colheita das árvores. A matéria orgânica, ao invés de se humificar, será oxidada pela incidência forte do sol e pelo ressecamento da serapilheira.

Já em relação aos resíduos da colheita, se toda a copa for deixada sobre o solo no caso dos plantios adensados, teremos uma contribuição entre 12 a 15 toneladas secas de material orgânico a cobrir o solo florestal a cada dois anos. Esses valores são interessantes para a ciclagem de nutrientes e restauração da qualidade do solo. Essa situação é ainda mais desejável para solos pobres, arenosos e de extrema fragilidade.

Entretanto, se esse material for removido em sua maior parte, resgata-se rapidamente a situação de pesadelo ambiental, pois quase nada sobrará no solo para ser ciclado e humificado.

Questionamento 12: E quanto à exportação de nutrientes? O que se pode esperar dos plantios adensados?

Diversas pesquisas apontam a grande remoção e exportação de nutrientes pelas florestas adensadas. Entretanto, essa exportação pode ser maior ou menor, como já vimos, função do que se pretende colher da floresta. Na verdade, o maior impacto no solo será causado pelo gestor e não pelo plantio florestal em si.

Ao se colher toda a parte aérea de um plantio adensado, são exportados por hectare cerca de:

- 70 a 200 kg de nitrogênio;
- 3 a 20 kg de fósforo;
- 50 a 70 kg de potássio;
- 90 a 120 kg de cálcio;
- 10 a 40 kg de magnésio
- ...e muitos micronutrientes.

Já na remoção apenas da madeira, como sugerido por diversos estudiosos dos plantios adensados, a situação seria bastante amenizada. Isso porque a maior parte dos nutrientes está compartimentada na copa e na casca da floresta:

Nitrogênio: entre 60 a 70% está na copa;

Fósforo: entre 60 a 80% está na casca;

Potássio: cerca de 35% está na casca e outros 35% na madeira;

Cálcio: entre 80 a 90% está na casca.

A madeira, além de ser o componente mais valioso da floresta para biomassa, também é um dos que menos exporta nutrientes. As remoções adicionais de casca e de copa (decisão totalmente ecoineficiente para a copa) afetarão significativamente os balanços nutricionais da floresta, o que exigirá reposição por fertilização mineral cara e complexa.

Além do problema de exportação de nutrientes, temos a somar a perda de material orgânico destinado a humificar o solo. Além de ser menos material orgânico deixado, teremos os fortes efeitos de oxidação de húmus, que já foi formado, pela exposição frequente do solo aos raios solares. O húmus tem a missão de adsorver nutrientes, reter umidade, estruturar o solo e favorecer a microvida e sua biologia. Sua redução vai afetar sem dúvidas o solo, e de forma significativa. A maior exposição do solo às enxurradas pós-colheitas vai também exportar nutrientes e partículas via erosão, criando problemas de turbidez e assoreamento de cursos d'água.

Questionamento 13: Como fica a situação dos sub-bosques nos plantios clonais adensados?

O sub-bosque, que já é reduzido em plantios clonais convencionais, praticamente desaparece nos plantios adensados. Não há como se vegetar com tantas árvores competindo com essa vegetação de baixo crescimento. Isso significa ainda que praticamente todos os nutrientes imobilizados pela matéria orgânica vegetal estarão contidos ou nas árvores de eucalipto, ou na serapilheira formada.

Do ponto de vista operacional, o combate à mato-competição é favorecido: em pouco tempo a floresta fecha o terreno e abafa o mato.

Questionamento 14: Quanto custa plantar uma floresta adensada de eucalipto?

Atualmente no Brasil (dados de 2011), um plantio clonal convencional e de excelente qualidade tecnológica demanda um investimento entre 3,5 a 4,5 mil reais por hectare para ser formado. O plantio adensado custa bem mais que isso, pois necessita de muito mais mudas, fertilizantes e operações silviculturais.

Vejam a seguir uma comparação simples, somente para esses fatores diferenciais:

Operações silviculturais e custos unitários por hectare	Plantio clonal adensado (espaçamento 3mx0,5m)	Plantio clonal tradicional (espaçamento 3x3m)
Número de mudas por hectare	6.500	1.111
Custo de mudas clonais por hectare* (250 reais por milheiro)	1.650	275
Custo operacional de plantio por hectare* (R$)	350	250
Custo da fosfatagem natural por hectare* (R$)	400	200
Custo da fertilização mineral* (do plantio até 12 meses)	600	300
Somatório dos fatores diferenciais	3.000	1.025
Δ = 1.975 R$/ha		

*Valores de custos correntes em reais no ano de 2011

Questionamento 15: Afinal, é um bom negócio plantar eucaliptos adensados?

O primeiro de todos os considerandos desse negócio é que os plantios adensados irão oferecer um único tipo de produto - a biomassa energética. As árvores finas e com alta proporção de casca não servirão para finalidades mais nobres. Também, se o mercado de biomassa estiver ocioso e sem demanda, não há como manter o povoamento esperando no campo, as árvores ficariam desesperadas e a competição entre elas seria mortífera.

Por outro lado, nossos financistas estão sempre preocupados em avaliar o retorno sobre seus investimentos. A forma mais simples é se criar um fluxo de caixa apropriado e calcular a Taxa Interna de Retorno (TIR). Fica difícil comparar plantios adensados de eucaliptos com outros plantios convencionais, mas tentaremos uma aproximação para isso.

A título de exemplo, vamos considerar duas situações que aconteceriam em um prazo igual de seis anos (*Valores de custos correntes em reais no ano de 2011*):

Situação 01:

Plantio clonal adensado colhido a cada dois anos, oferecendo 50 toneladas de fuste com casca em cada colheita. O custo de implantação foi considerado ser R$ 6.000/hectare e a biomassa foi valorizada em 120 reais por tonelada seca. O aluguel da terra foi estipulado como 300 reais por hectare e por ano e os custos de manutenção anuais (combate a formigas, manutenção de estradas e aceiros, etc.) em 100. No fluxo de caixa dessa primeira alternativa teremos 3 colheitas e duas conduções da brotação após a primeira e segunda colheita. Essa condução implicou em novas fertilizações, etc. e seu custo unitário foi de R$ 1.500/hectare.

Situação 02:

Plantio convencional a um custo de R$ 4.000/hectare e produção de 150 toneladas secas de biomassa (fuste com casca) ao sexto ano, por corte raso. Os valores dos custos de manutenção e aluguel da terra e o preço da biomassa foram considerados os mesmos da situação 01.

A situação 02 fica prejudicada em relação à 01 pois uma única colheita teve que pagar todos os custos da rotação. Caso tivéssemos uma nova rotação por manejo da brotação, os resultados do negócio seriam melhorados, sem dúvidas.

Avaliação dos resultados:

Com a nossa tradicional e veterana calculadora financeira HP 12C avaliamos os fluxos de caixa e os resultados de TIR foram s seguintes:

TIR situação 01: 19,87%

TIR situação 02: 22,83%

Ou seja, similares - então, quais as vantagens da antecipação da colheita e redução do comprimento da rotação? Somente se colhendo o tronco ou

fuste (madeira + casca) não há vantagens econômicas aparentes, que só surgirão se forem também colhidos os demais compartimentos da biomassa aérea (galhos, ponteiros, folhas, etc.)

Questionamento 16: Quais as vantagens sociais dos plantios adensados?

Os plantios adensados são definitivamente mais demandantes em trabalho humano, mais operações e mais maquinários envolvidos. Com isso, deverão requerer mais empregos para plantio, manejo, colheita e transporte de produtos do que os plantios convencionais, onde a atividade humana é mais reduzida.

Questionamento 17: Onde as novas pesquisas deveriam colocar foco em relação aos plantios adensados de eucaliptos?

O sucesso desse tipo de manejo vai depender de muitos estudos relacionados aos 16 questionamentos anteriores e muito foco em sustentabilidade, quer ambiental, como da capacidade produtiva dos sítios destinados às florestas.

Alguns tópicos a merecer avaliações criteriosas são a seguir sugeridos aos nossos pesquisadores:

- balanços nutricionais planta/solo/serapilheira e ciclagem de nutrientes;
- balanços hídricos, uso e desperdícios da água, etc., etc.;
- exportação total de nutrientes e forma adequada de reposição;
- qualidade física, química, biológica e estrutural dos solos; colocando ênfase ainda no carbono orgânico, húmus, erosão, microvida, etc.;
- compensação da biodiversidade que fica reduzida em função de abafamento do sub-bosque e consequente diminuição do banco de sementes e alimentos para a fauna;
- estabelecimento de zoneamentos edafoclimáticos para esse tipo de silvicultura, permitindo assim o plantio de florestas adensadas em regiões adequadas em relação ao balanço hídrico, conflitos pelo uso da água, qualidade do solo no longo prazo, etc., etc.
- gestão dos ecossistemas e da paisagem, evitando a concentração exagerada dessas florestas de baixa biodiversidade;

• desenvolvimento de critérios e índices de sustentabilidade específicos para a certificação desse tipo de plantações, que são mais assemelhadas aos cultivos agrícolas;

• avaliações técnicas sobre as interações espaçamento / densidade populacional / idade / produtividade / colheita;

• tipos de manejo para garantir a capacidade produtiva do sítio florestal, bem como sua performance ambiental, econômica e social;

• diversificação para utilizações mais amplas da biomassa gerada, tais como matérias-primas para biorrefinarias, etc.;

• desenvolvimento de tecnologias florestais para minimização de riscos em regiões mais frágeis e também em função da época do ano. Sabe-se muito bem que plantios adensados feitos no inverno úmido são bem diferentes de plantios feitos no verão seco, ou mesmo úmido, etc., etc.

Considerações finais do artigo em questão:

Como conclusão dessas nossas reflexões, lembrarei a todos que esse novo tipo de manejo florestal, que vem encantando alguns técnicos, acadêmicos e investidores do setor, merece toda atenção e avaliações de seus riscos, não apenas de suas vantagens ou oportunidades.

Os plantios adensados mostram evidentes riscos que precisam ser conhecidos, avaliados, mitigados, compensados e evitados. Com ciência, dedicação, muito trabalho e muita imparcialidade e respeito ao ambiente poderemos talvez encontrar caminhos e soluções para se produzir biomassa florestal da forma a mais ecoeficiente possível.

Não podemos querer apenas trilhar pelo caminho mais fácil, que seria usar solos mais férteis e regiões com bons níveis de precipitação, como tem feito a cultura da cana de açúcar, que se vale dos melhores solos agrícolas do Brasil. Se essa for a opção, cada vez mais a bioenergia estará deslocando as áreas de produção de alimentos e reduzindo as disponibilidades aos cultivos agrícolas igualmente essenciais à sociedade.

O setor de base florestal que planta árvores sempre se tem orgulhado de ser responsável e usar terras marginais e esgotadas pela agricultura e pecuária. Corremos sério risco de que os investidores nesse setor passem a acreditar que os plantios adensados não são florestas, mas sim cultivos energéticos e agrícolas. Se isso vier a acontecer, se os plantadores de florestas adensadas passarem a plantar "roças de árvores", nós do setor florestal estaremos negando tudo o que

desenvolvemos até agora para a sustentabilidade de nossas florestas plantadas. Teremos que reaprender a silvicultura para de novo buscar caminhos sustentáveis. Novas rotas tecnológicas sobre a gestão do solo, da biodiversidade, dos ciclos hidrológicos, etc. deverão ser estudadas e apresentadas para as partes interessadas da sociedade. Amplos diálogos serão necessários para adequado convencimento das mesmas.

Se a opção da sociedade humana for trocar o combustível fóssil pela biomassa, com certeza as florestas plantadas, adensadas ou não, terão papel relevante nesse processo. Só que precisam ter sua sustentabilidade garantida e comprovada. *Senão estaremos trocando carbono fóssil por usos inadequados de solo, biodiversidade e água. O lado ecológico da conta da biomassa energética não pode ser pago pelos nossos solos, nem pela água de nossos recursos hídricos*.

Conto com a mobilização da academia, para mais uma vez responder com ciência e pesquisas a essas ansiedades, que não são apenas minhas, mas de uma grande parte dos engenheiros florestais do Brasil.

O Brasil merece ser um país verde, um verde inclusive das florestas plantadas e sustentáveis dos eucaliptos.

** Agradeço meus estimados amigos florestais Jorge Euclides Mayer Klein e José Baptista, ambos da empresa Celulose Riograndense, por terem colaborado na atualização de alguns dados praticados no setor florestal brasileiro.*

A bibliografia utilizada a relatada nesse artigo publicado em 2011 foi incorporada na seção de Referências da Literatura apresentada anteriormente para essa presente sequência de capítulos em utilização energética da biomassa do eucalipto.