SUBSÍDIOS PARA A ELABORAÇÃO
DE UMA ESTRATÉGIA INDUSTRIAL BRASILEIRA
PARA ECOMONIA DE BAIXO CARBONO

Caderno 2

Nota Técnica Papel e Celulose

© 2012 – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI
Qualquer parte desta obra pode ser reproduzida, desde que seja citada a fonte.

MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
GVces - Fundação Getúlio Vargas - Centro de Estudos em Sustentabilidade

Supervisão
Alexandre Comin – MDIC
Maria Luisa Campos Machado Leal - ABDI

Equipe Técnica da ABDI
Carla Naves – Gerente
Claudionel Campos Leite – Coordenador
Cássio Marx Rabello Da Costa - Especialista
Adriana Torres - Assistente Projetos
Willian Cecílio de Souza - Assistente Projetos

Coordenadora Geral
Carla Maria Naves Ferreira
Gerente de Projetos

Gerência de Comunicação ABDI
Oswaldo Buarim Junior

Supervisão da Publicação
Joana Wightman
Coordenadora de Comunicação

Equipe Técnica MDIC
Demétrio Florentino de Toledo Filho Assistente Técnico

Equipe Técnica FGV
Mario Monzoni
Guarany Osório
Alexandre Gross
Beatriz Kiss
Gabriel Pinheiro Lima
Gustavo Velloso Breviglieri
Mariana Bartolomei
Pedro Canelas

Consultor
Nino Sergio Bottini

Revisão de texto
GVces - Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getulio Vargas

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
Setor Bancário Norte Quadra 1 – Bloco B – Ed. CNC
70041-902 – Brasília – DF
Tel.: (61) 3962-8700
www.abdi.com.br

MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
Esplanada dos Ministérios, Bloco "J"
70053-900 - Brasília, DF,
Tel.: (61) 2027-7000
www.desenvolvimento.gov.br

FGV - Fundação Getúlio Vargas – Centro de Estudos em Sustentabilidade - GVces
Av. 9 de Julho, 2029 - Bela Vista
01313-902 – São Paulo - SP
Tel.: (11) 3799-7777
www.fgv.br

República Federativa do Brasil
Dilma Rousseff
Presidenta

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
Fernando Damata Pimentel
Ministro

Heloísa Guimarães Menezes
Secretária de Desenvolvimento da Produção do MDIC

Alexandre Comin
Diretor do Departamento de Competitividade Indústria da Secretaria de Desenvolvimento da Produção

Beatriz Martins Carneiro
Coordenadora-Geral de Análise da Competitividade e Desenvolvimento Sustentável

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
Mauro Borges Lemos
Presidente

Maria Luisa Campos Machado Leal
Otávio Silva Camargo
Diretores

Carla Maria Naves Ferreira
Gerente de Projetos

Claudionel Campos Leite
Coordenador do Complexo de Eletrônica

Centro de Estudos em Sustentabilidade da FGV/EAESP
Mario Monzoni
Coordenador Geral do GVces

Guarany Osório
Coordenador do Programa Política e Economia Ambiental - Centro de Estudos em Sustentabilidade - GVces

APRESENTAÇÃO

É cada vez maior a responsabilidade de todos os países para redução de gases de efeito estufa (GEE). O Brasil assumiu essa responsabilidade ao aprovar a Lei 12.187/2009, que trata da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), comprometendo realizar um conjunto de ações governamentais e setoriais visando à mitigação e a adaptação aos efeitos da mudança do clima.

A partir da Conferência de Copenhague, Dinamarca, realizada em dezembro 2009, o Brasil estabeleceu cinco segmentos em que atuará para diminuir a emissão de GEE: redução do desmatamento da Amazônia e também do Cerrado; investimento em energia limpa, como os biocombustíveis; substituição da produção de carvão original de desmatamento por carvão de florestas plantadas, e a utilização do plantio indireto na agricultura. Com isso, espera-se que o país reduza entre 36,1% e 38,9% da sua emissão de gases de efeito estufa até 2020.

Com a PNMC deu-se início à elaboração de Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima, regulamentados pelo Decreto nº 7.390/2010. Em 2011 foi determinada a elaboração dos seguintes Planos Setoriais: Indústria; Mineração; Transporte e Mobilidade Urbana; e Saúde. Esses planos, bem como os elaborados anteriormente, subsidiarão a revisão do Plano Nacional de Mudança do Clima de 2012.

O Plano Setorial de Reduções de Emissão da Indústria (Plano Indústria) é de responsabilidade do Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior – MDIC e abrange a Indústria de Transformação, Bens de Consumo Duráveis, Química Fina, Base, Papel e Celulose e Construção Civil.

O objetivo do Plano Indústria é preparar a indústria nacional para o novo cenário que já se

desenha, em que a produtividade-carbono, que equivale a intensidade de emissões de gases de efeito estufa por unidade de produto, será tão importante quanto a produtividade do trabalho e dos demais fatores para definir a competitividade internacional da economia.

O Plano Indústria adotou como referência a meta de redução de emissões de processos industriais e uso de energia de 5% em relação ao cenário tendencial (Business As Usual) projetado para 2020.

Considerando que, tanto no que se refere às emissões diretas quanto aquelas oriundas do Subsetor Energético, poucos setores industriais concentram a maior parte de emissões de GEE. O Plano Indústria propõe que, numa primeira fase, os setores que são responsáveis pela maior parte das emissões sejam focalizados de forma particular.

Com isso, e considerando ainda o estabelecido na Lei 12.187/2009, foi proposto incluir inicialmente os seguintes setores:

- *Alumínio*
- *Cal*
- *Cimento*
- *Ferro-gusa e aço*
- *Papel e celulose*
- *Química*
- *Vidro*

Em conjunto, esses setores foram responsáveis, em 2005, por quase 90% das emissões diretas de GEE da Indústria de Transformação e por mais da metade das emissões derivadas da queima de combustíveis fósseis na indústria. Em 2009, o peso destes setores no Valor Bruto da Produção industrial foi de aproximadamente 19%, embora inclua apenas pouco mais de 5% das empresas industriais.

O Plano Indústria realizará estudos de linhas de base e cenários tendenciais de emissões, levantamento de tecnologias de baixo carbono e oportunidades de mitigação nas cadeias produtivas dos setores considerados e estabelecerá canal permanente de comunicação entre indústria e governo para identificar obstáculos à melhoria de gestão de carbono e encaminhar medidas para superá-los. A partir do estabelecimento dessas pré-condições será possível preparar a indústria para novos avanços na quantificação dos resultados de mitigação.

Inicialmente o foco das ações setoriais do Plano Indústria será a indústria de Alumínio, Cimento, Papel e celulose e Química, seguidos pela indústria de Ferro e Aço, Cal e Vidro, em 2013, e com a incorporação progressiva de todos os demais setores da Indústria de Transformação até 2020.

Para cumprimento das metas estabelecidas no Plano Indústria para o ano de 2012, o Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior – MDIC e a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI celebraram convênio para a realização do Estudo Técnico que irá subsidiar a elaboração de uma estratégia industrial brasileira para economias de baixo carbono para a indústria de Alumínio, Cimento, Papel e celulose, Química e Automotivo.

Para a elaboração das Notas Técnicas, que constituem o Estudo, foi contratada a Fundação Getúlio Vargas. O Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces) coordenou uma série de reuniões e workshops setoriais buscando levantar e estruturar as informações relevantes sobre os assuntos para a elaboração das seguintes Notas Técnicas .

- *Nota Técnica Mensuração, Relato e Verificação de Inventários Bottom-up de Gases de Efeito Estufa no Brasil.*
- *Nota Técnica Papel e Celulose.*
- *Nota Técnica Subsetor Cimento.*
- *Nota Técnica Química.*
- *Nota Técnica Alumínio.*
- *Nota Técnica Eficiência de Motores de Automóveis de Passeio.*

Assim, este caderno contempla a Nota Técnica Papel e Celulose.

Este trabalho constitui importante contribuição do MDIC e da ABDI para a estruturação e consolidação da estratégia nacional para economia de baixo carbono.

SUMÁRIO EXECUTIVO

Papel e Celulose

A indústria de papel e celulose é composta por dois grandes segmentos industriais que, apesar de fazerem parte do mesmo setor, são totalmente diferentes um do outro, cada um com seu respectivo processo produtivo. O primeiro deles é o de celulose, o qual produz tipos diferentes de celulose e pastas, com destaque para a celulose produzida a partir do processo Kraft. O segundo segmento industrial desse setor é o de papel, responsável pela produção de diversos produtos relacionados. Seus principais produtos são: papel para imprimir e escrever; papel para embalagens; papel de imprensa e papéis para fins sanitários.

Além disso, estão contidos no setor de papel e celulose dois componente fundamentais: o industrial e o florestal. Dado que a nota técnica em questão tem como principal finalidade subsidiar o Plano Indústria de mudanças climáticas do MDIC, o qual estipula uma meta de redução de emissões de GEE associadas a energia e processos industriais, não foi objetivo do presente trabalho explorar as minúcias dos aspectos relativos ao componente florestal presentes no setor.

Embora que se reconheça que tal componente é parte imprescindível do processo produtivo do setor de papel e celulose, não foram aprofundadas as pesquisas à esse respeito. Contudo, ainda assim, apresenta-se uma breve discussão para que se entenda um pouco melhor o que é esse componente, como ele faz parte do setor e em quais aspectos ele impacta e mitiga as mudanças climáticas.

Em termos de produção, o setor de papel e celulose ocupa posição de destaque em termos nacionais e também no quadro mundial. Ainda que haja um grande potencial de crescimento todavia não explorado, o setor brasileiro de papel e celulose figura entre os 10 maiores

produtores mundiais de seus respectivos produtos (Bracelpa, 2011), sendo ele responsável 3,7% dos bens exportados pelo Brasil em 2010.

As indústrias do setor de papel e celulose se caracterizam pela utilização intensiva de energia em seus processos produtivos, que representaram, em 2010, cerca de 4,5% de toda a energia consumida no Brasil. A energia térmica é a componente mais expressiva na matriz energética do setor de papel e celulose. Nesse mesmo sentido, o consumo de combustíveis para geração de energia térmica em forma de vapor e calor é a maior fonte de geração de GEE nas indústrias de papel e celulose.

Apesar do setor de papel e celulose ser intensivo no uso de energia, ele se destaca em termos dos combustíveis utilizados para geração de energia, já que, atualmente, grande parte deles advém de fontes renováveis. O setor apresentou, ao longo dos últimos anos, reduções consideráveis nas suas emissões de GEE associadas ao uso de combustíveis fósseis para geração de energia. Prova disso é que em 1980 cerca de 50% da matriz energética do setor era oriunda de combustíveis fósseis e em 2010 eles representaram cerca de 12% do total (Bracelpa, 2011).

Tal substituição de combustíveis, associada ao fator de emissão de GEE relativamente baixo do grid brasileiro, faz com que o setor de papel e celulose brasileiro apresentasse um índice de intensidade carbônica abaixo da média mundial (ICFPA, 2011). Dessa forma, a manutenção do percentual renovável da matriz de geração de energia do setor já seria um cenário desejável do ponto de vista do baixo carbono, dado que atualmente, a maior parte da geração de energia desse setor advém de fontes renováveis, com destaque para o uso da lixívia (licor negro) e da lenha para esse fim.

Logo, como conclusão desse estudo, considera-se que a evolução da redução da intensidade carbônica do setor estaria associada a:

- *Manter e dar continuidade a tendência de substituição de combustíveis intensivos em emissões de GEE para outros de menor intensidade carbônica, particularmente biomassa, licor negro e gás natural;*
- *Adotar medidas de eficiência energética, a partir de maior eficiência elétrica e da adoção de fornos e caldeiras mais modernos e eficientes nas plantas em operação;*
- *Aumentar a participação de cogeração de eletricidade a partir de combustíveis renováveis na matriz energética do setor;*
- *Viabilizar o uso de tecnologias e processos industriais de baixo carbono em novas plantas;*
- *Fomentar ações de pesquisa e desenvolvimento associadas a novas tecnologias de baixo carbono e rotas alternativas.*
- *Realização de um estudo de Curvas de Custo Marginal de Abatimento de Emissões (MACC) para o setor de papel e celulose.*

SUMÁRIO

1. Introdução **13**

2. Perfil Técnico da Indústria de Papel e Celulose **25**

3. Opções Tecnológicas de Mitigação de GEE **35**

4. Componente Florestal da Indústria de Papel e Celulose **49**

5. Projeção de Emissões da Indústria de Papel e Celulose **53**

6. Recomendações de Políticas Públicas **65**

7. Bibliografia **67**

8. anexos **73**

Siglas

BEN – Balanço Energético Nacional
BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento
Bracelpa – Associação Brasileira de Celulose e Papel
BIG-CC - Biomass Integrated Gasifier to Combined Cycles
Ca(OH)2 – Hidróxido de Cálcio
CaCO3 – Carbonato de Cálcio
CaO – Hidróxido de Cálcio
CO2 – Dióxido de Carbono / Gás Carbônico
CDE – Conselho de Desenvolvimento Econômico
CNI – Confederação Nacional da Indústria
CO – Monóxido de Carbono
EUA – Estados Unidos da América
FAO – Food and Agriculture Organization of United Nations
GEE – Gás de Efeito Estufa
GN – Gás Natural
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo
IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change
MACC – Marginal Abatement Cost Curves
MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia
MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio
MME – Ministério de Minas e Energia
NaOH – Soda Cáustica
Na2CO3 – Carbonato de Sódio
Na2S – Sulfeto de Sódio
Na2O – Óxido de Sódio
NMVOC – Non-methane volatile organic compounds
O2 – Oxigênio
PAR – Pastas de Alto Rendimento
PIB – Produto Interno Bruto
PNE – Plano Nacional de Energia
RISI – Resource Information Systems Inc.
SIN – Sistema Interligado Nacional
Secex – Secretaria de Comércio Exterior

1. Introdução

A produção de celulose e papel no Brasil ocupa uma posição de destaque em termos nacionais e também no quadro mundial. Ainda que haja um grande potencial de crescimento não explorado, o setor brasileiro de papel e celulose figura entre os 10 maiores produtores mundiais de seus respectivos produtos (Bracelpa, 2011), sendo ele responsável 3,7% dos bens exportados em 2010 (MDIC, 2010; MME, 2011a).

O setor de papel e celulose é composto por duas principais partes: florestal e a industrial, sendo ambas partes fundamentais dentro do processo produtivo do setor. Exemplo da importância de ambos os componentes se vê, inclusive, pela parcela de investimentos que as indústrias do setor devem realizar para cada um desses componente. Segundo a Bracelpa, ainda que o montante investido para a construção de plantas industriais seja representativo, os voltados ao componente florestal pelo setor no Brasil são, para algumas empresas, maiores do que os do componente industrial.

Como será mais explorado adiante no trabalho, do ponto de vista das mudanças climáticas, cada um desses componentes tem um perfil diferente de emissões gases de efeito estufa (GEE). O componente florestal engloba as florestas de produção do setor, bem como as técnicas de manejo de tais florestas. As florestas, por definição, são sumidouros de carbono e o capturam da atmosfera, fazendo que o setor contenha um importante componente de remoção de carbono atmosférico como parte de seu processo produtivo.

Nesse sentido, e dado o patamar tecnológico do parque industrial de papel e celulose brasileiro, qualquer incremento em sua produção deve ser paralelamente conduzido com respectivos aumentos na base florestal, o que, por sua vez, está associado a maiores remoções de GEE. Não obstante e ainda que em menor escala do que as advindas da parte industrial do setor,

o componente florestal também é fonte de emissões de GEE, as quais advêm, sobretudo, de transporte, manejo florestal e uso de fertilizantes.

O componente industrial engloba os processos industriais de celulose e papel e a geração e uso de energia nas plantas desse setor. O componente industrial representa grande parte das fontes de emissão de GEE desse setor, as quais advêm prioritariamente da queima de combustíveis fósseis para geração de energia térmica na forma de calor e vapor.

Apesar de o setor de papel e celulose ser intensivo no uso de energia, ele se destaca em termos da sua matriz energética, já que, atualmente, grande parte da geração de energia do setor advém de fontes renováveis. O setor apresentou, ao longo dos últimos anos, reduções consideráveis nas suas emissões de GEE associadas ao uso de combustíveis fósseis para geração de energia. Prova disso é que em 1980 cerca de 50% da matriz energética do setor era oriunda de combustíveis fósseis e em 2010 eles representaram cerca de 12% do total (Bracelpa, 2011).

Dessa forma, para que se tenha uma visão apropriada da quantidade líquida de GEE emitido pelo setor, devem ser levados em conta ambos os componentes, o florestal e o industrial. Contudo, o escopo desse trabalho, realizado dentro do âmbito Plano Indústria de Mudanças Climáticas, se aterá antes à analise do componente industrial do que o florestal, o que, por sua vez, levanta a necessidade de uma pesquisa com foco nesse componente em outro plano setorial para que se tenha uma visão integral desse setor econômico.

Por meio do presente trabalho espera-se ter um panorama apropriado da situação e também das perspectivas de baixo carbono associadas às atividades industriais do setor de papel e celulose. Ainda que o componente florestal não tenha sido considerado de maneira aprofundada nesse trabalho, a maximização da contribuição do setor para a mitigação das mudanças climáticas deve necessariamente passar pelo aproveitamento do potencial de baixo carbono de cada um desses dois componentes.

1 A Indústria de Papel e Celulose no Brasil

1.1 Contextualização Histórica

A indústria de papel e celulose no Brasil remonta ao início do século 19. Contudo, esse setor no Brasil teve crescimento bastante tímido até o início da década de 1950. Como bem aponta Zaeyen, 1986, o primeiro grande salto dessa indústria, ocorrido entre a década de 1950-1970, deveu-se sobretudo a:

> *1) a política de incentivos fiscais de 1966 (Lei 5.106), que, ao permitir a dedução de Imposto de Renda para investimentos em projetos de reflorestamento aprovados pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), propiciou a expansão dos maciços florestais de espécies exóticas no Brasil, especialmente de pinus e eucalipto;*

2) a fixação pelo BNDES, em 1968, de níveis mínimos de escala de produção para projetos que desejassem apoio financeiro;

3) a fixação pelo Conselho de Desenvolvimento Econômico (CDE), em 1972, de novos níveis mínimos de escala de produção, os quais foram adotados também pelo BNDES e resultaram no aumento expressivo da produção brasileira de papel e celulose e no início das exportações. (BNDES, 2002)

As décadas de 1960 e 1970 foram de forte expansão da indústria de papel e celulose no Brasil, com o surgimento de diversas empresas para atuar nesse setor e a consequente ampliação de sua capacidade de produção. Nesse período, muitos desses projetos receberam incentivos por parte do governo, em particular do BNDES, por meio de expressivos aportes de capitais.

Além disso, data desse período o início da utilização do eucalipto nas florestas de produção, espécie de crescimento extremamente rápido quando comparado a outras árvores. Tal adoção representou uma verdadeira revolução para a indústria de celulose brasileira, visto que as outras polpas não resultavam em um papel de qualidade satisfatória para determinados fins.

Até então, as opções nativas que eram utilizadas, tal qual o pinheiro-do-paraná, se concentravam na Região Sul do País e já eram intensamente exploradas pela indústria madeireira. Contudo, seu plantio não era economicamente viável, por conta do longo prazo necessário de crescimento da planta. Muitos especialistas apontam que seu uso foi chave para viabilizar o crescimento dessa indústria no Brasil.

Já o período compreendido entre o final da década de 1980 e começo da década de 1990 marcou a consolidação dessa indústria. Nesse período, além do crescimento do setor, viram-se relevantes investimentos financeiros em modernização e em ganho de produtividade das plantas industriais, bem como na profissionalização da gestão das empresas.

Nesse ínterim, o governo viabilizou diversos incentivos para esse setor, com destaque para duas versões do Programa Nacional de Papel e Celulose. Esses programas tinham diversos objetivos, mas visavam prioritariamente ampliar a oferta de papel e celulose e aumentar o contingente de florestas plantadas.

Assim sendo, ao longo dos últimos 60 anos, a indústria de papel e celulose brasileira conquistou um importante patamar em termos internacionais, calcada principalmente nas condições edafoclimáticas favoráveis e nos investimentos em pesquisa e desenvolvimento realizados pelo setor. Indubitavelmente, foi por conta desses fatores que o Brasil conquistou tal expressividade e hoje detém a melhor produtividade florestal do mundo. Atualmente, essa indústria é exclusivamente abastecida por florestas plantadas, garantindo, além da sustentabilidade ambiental e da não contribuição ao desmatamento e agravamento das mudanças climáticas, melhores integrações logísticas e reduções de custos para as indústrias. (BNDES, 2002)

1.2 Perfil Econômico

O setor de papel e celulose apresentou um faturamento de aproximadamente R$ 34 bilhões em 2010, de acordo com a Associação Brasileira de Celulose e Papel (Bracelpa). Frente a 2009, isso representou um crescimento de cerca de 23% em 2010.

Tabela 1: Faturamento Anual (em R$ mil)

Faturamento anual (em R$ mil)

	2009	2010	%
Celulose	8.035.267	11.414.773	42,06
Papel	14.938.350	17.471.045	16,95
Artefatos[1]	4.544.836	5.064.029	11,42
Total	27.518.453	33.949.847	23,37

1. Refere-se a vendas de produtos manufaturados, como caixas, caderno e itens de higiene
Fonte: Bracelpa

Tal crescimento foi alavancado principalmente por um considerável incremento no faturamento do setor de celulose, que em relação ao ano de 2009 cresceu cerca de 42%. O setor de papel e de artefatos[5] compõe o restante do crescimento do faturamento desse setor, com aumentos de 17% e 12% respectivamente. Ainda que o setor apresente dados de faturamento para 2009 e 2010, ele não apresenta os respectivos dados para o ano de 2011.

Não obstante o setor tenha apresentado expressivo aumento no faturamento anual, o aumento da produção entre 2009 e 2010 tanto no setor de papel como no de celulose foi tímido, sendo de 5,6% e de 3,9%, respectivamente,. Já no ano de 2011, o setor de papel cresceu sua produção em 0,4% e o setor de celulose apresentou retração de 1,2%.

Em termos de toneladas, tanto em 2011 como em 2010, o segmento de papel exportou cerca de 21% da sua produção, sendo que em relação a 2009, essa rubrica cresceu 3,3%. Por outro lado, as importações para esse segmento industrial representam cerca de 15% do total produzido em 2011 e também em 2010. Em relação a 2009, elas cresceram significativamente, atingindo um aumento de cerca de 39% em relação ao ano anterior. Em dólares, as importações apresentaram um aumento de 41% e as exportações cresceram em cerca de 19% de 2009 para 2010. De 2010 para 2011, as importações do setor de papel cresceram 14% e as exportações foram incrementadas em 9%.

5 Refere-se a vendas de produtos manufaturados, como caixas, cadernos e itens de higiene.

Tabela 2: Produção de Papel e Celulose (1.000 toneladas)

CELULOSE	2010	2011	%	Jan-Abr		
				2011	2012 (2)	%
.Produção	14.164	13.999	-1,2	4.684	4.624	-1,3
.Importação (1)	412	392	-4,9	133	128	-3,8
.Exportação (1)	8.375	8.478	1,2	2.820	2.835	0,5
.Consumo Aparente	6.201	5.913	-4,6	1.997	1.917	-4,0

PAPEL	2010	2011	%	Jan-Abr		
				2011	2012 (2)	%
.Produção	9.844	9.887	0,4	3.270	3.275	0,2
.Importação (1)	1.502	1.455	-3,1	530	472	-10,9
.Exportação (1)	2.074	2.052	-1,1	714	667	-6,6
.Consumo Aparente	9.272	9.290	0,2	3.086	3.080	-0,2

(1) Fonte: SECEX
(2) Dados Preliminares

Já o segmento de celulose, com perfil bastante diferente, exportou cerca de 60% do total produzido em 2011 e em 2010, sendo que em relação ao ano anterior, essa variável cresceu cerca de 2%. Contudo, esse setor importou um equivalente a 3% da sua produção nos anos de 2011 e também em 2010. Em dólares, as importações apresentaram um aumento de 49% e as exportações cresceram em cerca de 44% entre 2009 e 2010. Já do ano de 2010 para 2011, o aumento de valor das importações cresceu em 4% e das exportações em 5%.

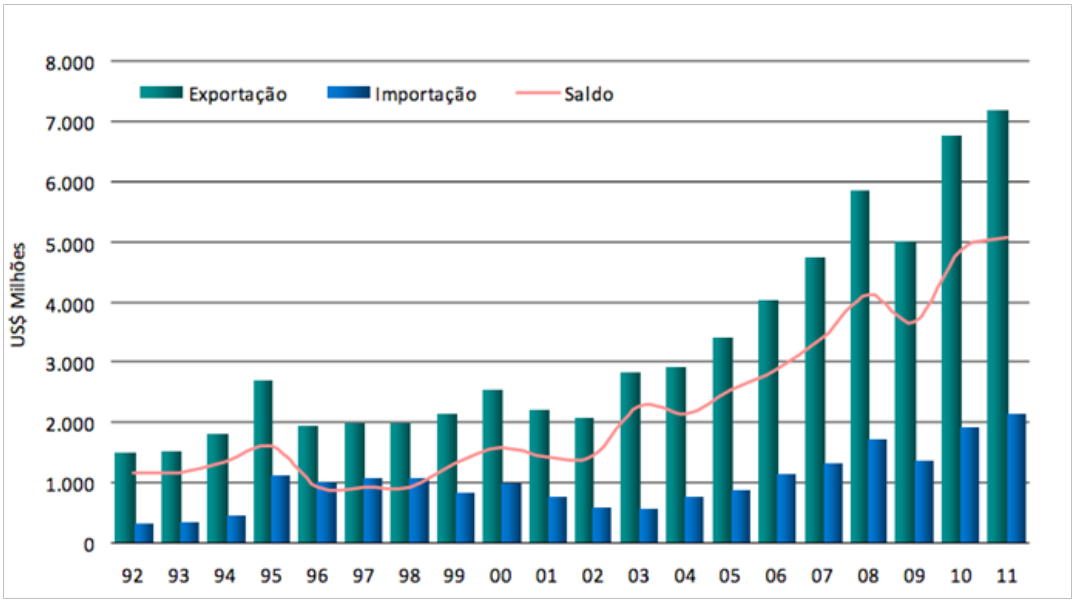
Portanto, vê-se que o setor de papel tem um perfil bastante diferente do setor de celulose, já que em termos relativos aquele setor importa cerca de três vezes mais e exporta aproximadamente 34% a menos. Além disso, ao observar os dados de exportação da produção em toneladas, percebe-se que o setor de papel e celulose, em que o mercado internacional tem relevante importância, sofreu com a crise econômica mundial.

Tabela 3: Balança Comercial do Setor de Papel e Celulose no Brasil

	2010	2011	%	Jan-Abr		
				2011	2012**	%
Exportação*	6770	7190	6,2	2348	2197	-6,6
Celulose	4762	5002	5,0	1609	1537	-4,5
Papel	2008	2188	9,0	739	657	-11,1
Importação	1900	2128	12,0	722	657	-9,0
Celulose	360	374	3,9	125	110	-12,0
Papel	1540	1754	13,9	597	547	-8,4
Saldo	4870	5062	3,9	1626	1537	-5,5
Celulose	4402	4628	5,1	1484	1427	-3,8
Papel	468	434	-7,3	142	110	-22,5

* Fonte: SECEX
** Dados Preliminares

Figura 1: Evolução da Balança Comercial de Papel e Celulose



Fonte: Bracelpa

Ainda que o setor de papel e celulose tenha sofrido com a crise econômica mundial, a forte demanda advinda de países em desenvolvimentos, tais como a China, a Índia e a América Latina, como um todo, ajudou a manter o ritmo de exportações do setor. Vale destacar que entre 2008-2010, em que o mundo ainda sofria muito com as consequências da crise econômica mundial, o setor de celulose brasileira foi o único no mundo que cresceu em termos de produção. (Bracelpa, 2011)

Vê-se que o setor de celulose tem um perfil distinto do setor de papel em termos de destino de exportações. Enquanto o primeiro exporta prioritariamente para a China e para a Europa, as exportações de papel estão voltadas principalmente para a América Latina e Europa.

Figura 2: Destino das Exportações de Celulose

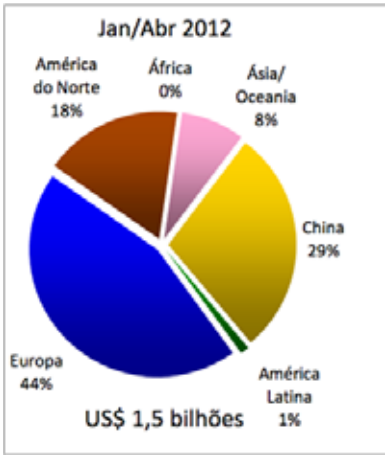
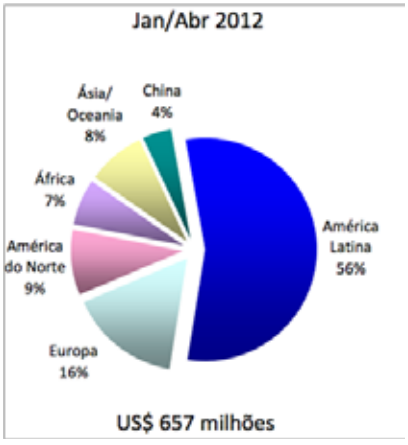


Figura 3: Destino das Exportações de Papel



Fonte: Bracelpa

O resultado da balança comercial reflete inequivocamente os efeitos tanto da crise econômica mundial que se arrasta desde meados de 2008, como também da boa competitividade do setor de papel e celulose em termos internacionais. Assim sendo, o saldo da balança comercial do setor saltou de US$ 2,8 bilhões, em 2009, para US$ 4,9 bilhões em 2010, um crescimento de 71%[6]. Já em 2011, o saldo da balança comercial apresentou um crescimento de aproximadamente 4%. Nota-se ainda que cerca de 90% do total desse saldo positivo na balança comercial advém do setor de celulose, enquanto apenas 10% são oriundos do setor de papel.

Em 2011, a receita total de exportações do setor atingiu US$7,2 bilhões, o que representa um crescimento de 6% em relação a 2010, quando foi de US$6,8 bilhões. Em relação a 2009, a receita total no ano de 2010 apresentou um crescimento de 35%. Em 2011 e em 2010 respectivamente, as exportações do segmento de celulose aumentaram 5% e 44% em relação a 2010 e 2009, enquanto as de papel aumentaram 9% e 19%. O valor total das importações do setor de papel e celulose reduziu-se significativamente entre 2009 e 2010, o qual saiu de um patamar de US$2,1 bilhões para US$1,9 bilhão em 2010. Em 2011, o montante importado pelo setor voltou a crescer, atingindo os mesmos US$2,1 bilhão de 2010.

Em 2010 e em 2011, o setor de papel foi responsável por cerca de 81% do total importado pelo setor de papel e celulose no Brasil, o que, ante uma participação de 89% no total importado pelo setor em 2009 significa uma redução de 9% na participação nessa rubrica. Assim sendo, o saldo da balança comercial do setor de celulose cresceu cerca de 43% e o de papel 112%, já que do ano de 2009 para 2010 o saldo deste que havia sido deficitário passou a ser superavitário.

Tabela 4: Participação do Setor Dd Celulose e Papel na Balança Comercial Brasileira

Participação do Setor de Celulose e Papel na Balança Comercial Brasileira
Sector's Share in the Brazilian Trade Balance
US$ Milhões FOB / *US$ Millions FOB*

	Jan-Dez / *Jan-Dec*							
	Brasil / *Brazil*			Papel e Celulose / *Pulp and Paper*			Participação % / *Share %*	
	2010	2011	Var. %	2010	2011	Var. %	2010	2011
Exportações / *Export*	201.915	256.040	26,8	6.770	7.190	6,2	3,35	2,81
Importações / *Import*	181.768	226.243	24,5	1.900	2.128	12,0	1,05	0,94
Saldo / *Balance*	**20.147**	**29.797**	**47,9**	**4.870**	**5.062**	**3,9**	**-**	**-**

Fonte/Source: SECEX/MDIC

Como apresentado, no ano de 2011, o setor de papel e celulose no Brasil exportou cerca de US$7,2 bilhões de dólares e importou US$2,1 bilhões. Assim, a participação desse setor no total das exportações brasileiras foi de 2,8% e de 0,94% em 2011, o que em relação a 2010 representam reduções de 17% e de 11% na representatividade das exportações e das importações desse setor, respectivamente.

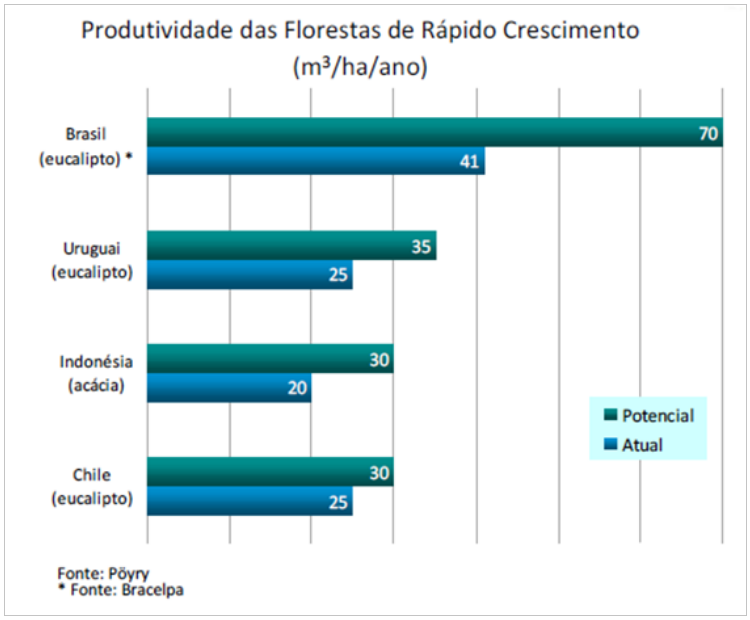
6 Os dados apresentados pela Bracelpa eram de US$3,7 bilhões para o saldo comercial do setor em 2009, o que em relação a 2010 resultaria numa variação desse saldo em 33%. Contudo, o saldo comercial do setor de papel para o ano de 2009 estava errado, de forma que os valores finais aqui apresentados não se verificam nos documentos da Bracelpa.

Segundo a Bracelpa, a China teve participação fundamental nesse resultado, já que nos últimos anos ela se tornou o principal destino da celulose brasileira, com 1,1 milhão de toneladas exportadas e representando 34% do total vendido internacionalmente. Em relação ao mercado de papel, a América Latina é a região que mais importa papel do Brasil, representando 57% do total das vendas internacionais. Com isso, o faturamento com exportação para países latino-americanos cresceu 28,8% em comparação com 2009. Em relação ao mercado interno, o destaque ficou para as vendas de papel-cartão e papéis para fins sanitários, os quais cresceram cerca de 15% e 6% respectivamente em relação a 2009. (Bracelpa, 2011)

Segundo a Bracelpa, 100% da madeira utilizada na fabricação de celulose e papel tem origem em florestas plantadas de eucalipto e pinus, que são espécies cultivadas especialmente para este fim. Nesse sentido, nenhuma árvore de mata nativa é derrubada para a fabricação dos bens desse setor.

Além disso, a produtividade das florestas plantadas brasileiras de pinus e eucalipto é boa em relação a seus pares internacionais, fazendo com que tais áreas agrossilvipastoris tenham o menor ciclo de crescimento do mundo. No Brasil a produtividade do eucalipto é de cerca de 41 m3/ha/ano e do pinus é de 38 m3/ha/ano (Bracelpa, 2011). Na figura 5, pode-se observar que o Uruguai e o Chile, que também têm boas produtividades em relação a outros países produtores, são inferiores das encontradas no Brasil. Contudo, o que mais chama atenção é o grande potencial de melhoria da produtividade do eucalipto, poderia chegar a 70 m3/ha/ano.

Figura 4: Produtividade das Florestas de Rápido Crescimento



A Bracelpa argumenta que os ganhos de produtividade viabilizados pelo setor ao longo dos últimos anos contribuíram de fato para que o mesmo compita internacionalmente. Isso viabiliza uma produção com menor demanda por terras quando em comparação ao montante demandado em outros países do mundo. (Bracelpa, 2011)

Os altos índices de produtividade do Brasil estão sobretudo relacionados às boas condições do clima e solo brasileiro, mas também aos investimentos realizados pelo setor em pesquisa e desenvolvimento, clonagem de mudas, planejamento socioambiental e de mão de obra qualificada. (Bracelpa, 2011)

O Brasil é o quarto maior produtor de celulose do mundo em termos de toneladas, produzindo cerca de 7,5% da produção mundial. Os EUA aparecem como os maiores produtores, chegando a produzir cerca de 3,5 vezes mais do que o Brasil, e é seguido pela China e Canadá.

Além disso, o Brasil é o nono maior produtor de papel do mundo em termos de toneladas ano, sendo responsável pela produção de cerca de 2,5% da produção mundial. A China, país com maior produção de papel do mundo, produz 24% do total manufaturado, sendo seguido por EUA, Japão, Alemanha e Canadá.

Tabela 5: Setor de Papel e Celulose Brasileiro em Termos Mundiais

CELULOSE			PAPEL		
	País	mil toneladas		País	mil toneladas
1.	EUA	49.243	1.	China	92.599
2.	China	22.042	2.	EUA	75.849
3.	Canadá	18.536	3.	Japão	27.288
4.	**Brasil ***	**14.164**	4.	Alemanha	23.122
5.	Suécia	11.877	5.	Canadá	12.787
6.	Finlândia	10.508	6.	Finlândia	11.789
7.	Japão	9.393	7.	Suécia	11.410
8.	Rússia	7.421	8.	Coréia do Sul	11.120
9.	Indonésia	6.278	9.	Indonésia	9.951
10.	Chile	4.114	**10.**	**Brasil ***	**9.844**
11.	Índia	3.931	11.	Índia	9.223
12.	Alemanha	2.762	12.	Itália	9.146
	Demais	25.313		Demais	89.771
TOTAL MUNDO		185.582	TOTAL MUNDO		393.899

Fonte: RISI
*Fonte: Bracelpa

Ainda que a indústria brasileira de papel e celulose já esteja relativamente bem posicionada em termos de produção mundial, todavia existe um potencial produtivo bastante grande a ser explorado. O Brasil tem potencial para expansão de suas florestas plantadas e, segundo a Bracelpa, as dificuldades encontradas para implementá-la representa um dos principais entraves para o desenvolvimento do setor. Nesse sentido e caso se viabilize o crescimento apropriado florestas de produção, a indústria de papel e celulose poderia figurar em posições ainda melhores nos rankings mundiais de produção.

A indústria de papel e celulose tem realizado investimentos maciços no aprimoramento da técnica de polpação, que será mais bem explorada na seção de "Perfil Técnico da Indústria de Papel e Celulose" desse trabalho, e em melhoramento genético de suas florestas de produção, com particular destaque para o eucalipto. Além disso, o setor vem realizando contínuos esforços para se tornar autossuficiente em geração de energia, sobretudo pela utilização do licor negro, um subproduto do processo produtivo que é reutilizado para cogeração. Os investimentos do setor estão na casa dos US$12 bilhões de dólares nos últimos 10 anos.

O setor de papel e celulose é composto por 222 empresas. Essas empresas são detentoras de 31 plantas de produção de celulose, 226 plantas de papel, 44 plantas de produção de pastas de alto rendimento e 51 plantas de produção de celulose e papel integradas.

Em 2009, os seis maiores produtores de celulose foram a Fibria, a Suzano, a Klabin, a Celulose Nipo-Brasileira, a International Paper do Brasil e a Veracel, as quais juntas representavam cerca de 85% do total produzido nesse ano. Em relação à produção de papel as seis maiores empresas são Kablin, Suzano, International Paper do Brasil, Fibria, a Rigesa e a Jari, as quais juntas representaram cerca de 50% da produção anual de papel desse mesmo ano. Sendo assim, o setor apresenta concentração acentuada, com destaque particular para o de celulose. (Bracelpa, 2010b)

2. Perfil Técnico da Indústria de Papel e Celulose

2.1 Características Técnicas Relativas às Emissões de GEE

As indústrias do setor de papel e celulose se caracterizam pela utilização intensiva de energia em seus processos produtivos, que representam, em 2010, cerca de 4,5 % de toda a energia consumida no Brasil. As principais componentes da matriz de consumo do setor se referem à geração de calor, vapor e eletricidade.

A eletricidade é em parte consumida de rede de distribuição cujas emissões de GEE são determinadas pelo fator de emissão da rede de distribuição do Brasil, disponibilizado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e calculado considerando o Sistema Interligado de Nacional (SIN) como único.

Parte da eletricidade é autogerada, sendo que a parcela mais significativa é obtida em sistemas de cogeração utilizando o vapor excedente das caldeiras, cuja quantidade de emissões depende do combustível nelas utilizado.

A energia térmica utilizada é o componente mais expressivo na matriz energética do setor de papel e celulose. Tanto as caldeiras quanto os fornos demandam grande quantidade de energia que, consequentemente, dependendo do combustível utilizado pode gerar grandes quantidades de emissões de GEE.

Ao longo dos anos, a matriz de utilização de combustíveis para geração de energia foi sendo alterada substancialmente, sendo que ao final da década de 1970, a participação de fontes não renováveis era da ordem de 60% do total (MME, 2011).

Com a utilização mais efetiva da lixívia (licor negro) e de outros combustíveis renováveis, notadamente madeira e resíduos de madeira, a participação de fontes não renováveis, que se apresentava com 16,5% do total em 2005, chegou, em 2010, a cerca de 12% do total (MME, 2011).

2.2 Definição dos Produtos

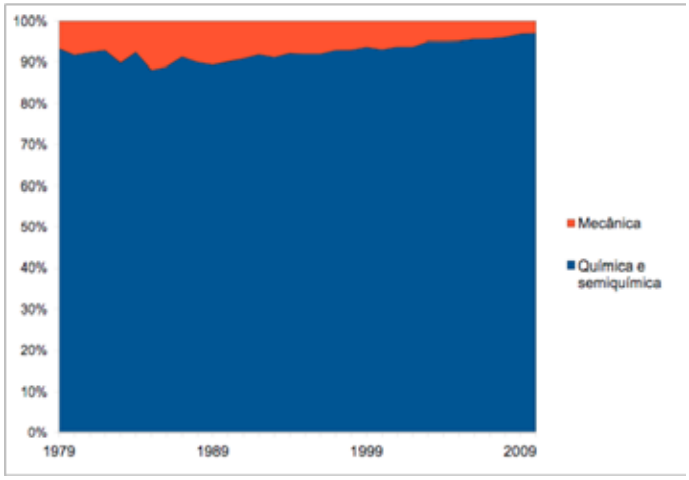
Apesar de fazerem parte do mesmo setor, a indústria de papel e celulose é composta por dois grandes segmentos industriais, totalmente diferentes um do outro, cada qual com seu respectivo processo produtivo.

O primeiro deles é o de celulose, o qual produz tipos diferentes de celulose e pastas. As celuloses e pastas colocadas no mercado são classificadas segundo o processo produtivo e o comprimento da fibra. Sendo assim, temos como principais produtos a:

- *Celulose de sulfato branqueada;*
    - *Celulose de fibra curta*
    - *Celulose de fibra longa*
- *Celulose de sulfato não-branqueada;*
    - *Celulose de fibra curta*
    - *Celulose de fibra longa*
- *Celulose de sulfito*
    - *Celulose de fibra curta branqueada ou não*
    - *Celulose de fibra longa branqueada ou não*
- *Pastas de alto rendimento (BNDES, 2001)*

Como apresentado no gráfico abaixo, mais de 90% da celulose produzida atualmente no Brasil advém de processos químicos e semiquímicos. As pastas de alto rendimento, obtidas prioritariamente por processos mecânicos, representam a menor parcela da produção nacional.

Figura 5: Evolução das Participações dos Diferentes Tipos de Celulose na Produção Brasileira



Além disso, cerca de 86% dessa celulose é de fibra curta, produzida majoritariamente a partir do eucalipto. A celulose de fibra longa, produzida a partir de coníferas, tal como o pinus, representa cerca de 11% do total produzido nacionalmente. A celulose também pode ser divida em duas categorias: a de fibra curta e a de fibra longa.

A celulose, obtida a partir das diferentes fontes de fibras e dos processo que estão descritos na seção seguinte, é insumo básico para a produção de papel. O tipo de celulose a ser utilizado para produção do papel está relacionado principalmente com a espécie de papel que se tem interesse em produzir, sendo que o papel pode ter como insumo de seu processo a celulose de fibra curta ou longa, oriunda de um processo químico, semiquímico ou mecânico, ou ainda papéis reciclados ou ainda misturas de cada um desses insumos.

A celulose de fibra longa é utilizada para a fabricação de papéis resistentes, tais como papéis de embalagem, imprensa e nas partes internas de papel-cartão. Já a celulose de fibra curta é destinada à produção de papéis de imprimir e escrever e também para fins sanitários.

Figura 6: Evolução da Produção de Celulose 2001-2010

Fonte: Bracelpa, 2012a

Vale destacar que grande parte da produção de celulose e pastas é consumida pelas próprias indústrias que as fabricam, constituindo o consumo cativo. Isso ocorre principalmente por conta de o principal insumo produtivo da indústria de papel ser a celulose e de as indústrias desse

segmento, por vezes, também produzirem papel. Ainda assim, nem toda empresa de celulose consume o que produz para abastecer sua produção própria de papel, já que a produção da indústria de celulose pode ser voltada à exportação ou a outras industriais produtoras de papel.

O segundo segmento industrial desse setor é o de papel, responsável pela produção de diversos produtos relacionados. Seus principais produtos são:

- Papéis para imprimir e escrever: referem-se basicamente a papéis para escrita, desenho, impressão de revistas, livros (exceto impressões como jornal, enquadrados em papéis de imprensa). São obtidos a partir de uma variedade de misturas de celulose e têm diversos tipos de acabamentos, segundo o seu fim específico;

- Papéis para embalagens: são papéis produzidos a partir de celulose química, ou de misturas desta com outras fibras não lenhosas, tais como a de algodão. Geralmente esse tipo de papel recebe um tratamento especial para torná-lo resistente a óleo, água e graxa. Incluem: papel Kraft, caixas de papelão, etc.;

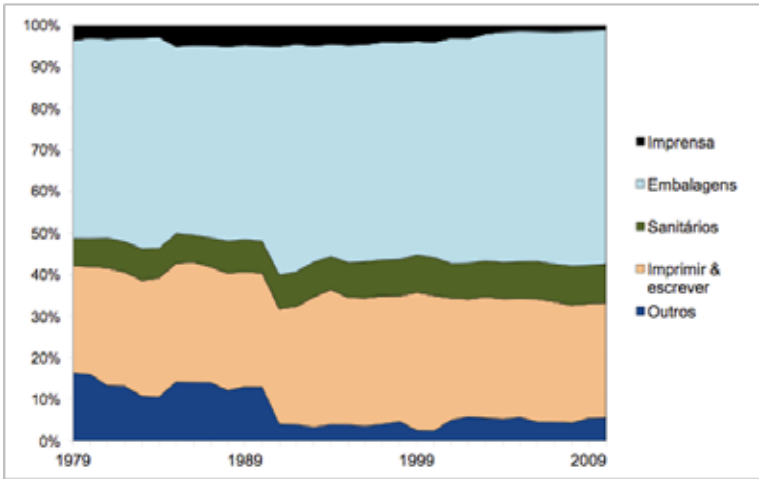
- Papéis de imprensa: são papéis geralmente utilizados para a impressão de jornais não revestidos, não calibrados, contendo no mínimo 60% de pasta mecânica.

- Papéis para fins sanitários: são papéis que em sua maioria são fabricados a partir da celulose química, às vezes misturada a pastas de alto rendimento ou fibras recicladas. Estão inclusos papéis higiênicos, guardanapos, etc.;

- Outros papéis: incluem uma grande variedade de papéis indo desde papéis-cartões, papéis finos especiais (sacos de chá, lenços para lentes) até papelão para construção. (FAO, 2011b)

Tal como se vê na figura abaixo, a produção brasileira de papel é principalmente voltada à produção de papel para embalagens, seguida por papéis para imprimir e escrever, papéis sanitários, outros papéis e papel de imprensa.

Figura 7: Evolução das Participações dos Diferentes Tipos de Papel na Produção Brasileira



Fonte: FAO, 2011b

2.3 Processo Produtivo

A celulose, comumente conhecida como “fibras” da madeira, é um composto químico natural presente nos vegetais, sendo um dos principais componentes de suas células. Já a lignina é a substância química que atua como agente ligante permanente de fibras da madeira. O processo de fabricação da celulose objetiva dissolver a lignina da madeira com o fim de liberar tais fibras com o mínimo de degradação dos carboidratos presentes nas paredes das células, a celulose e a hemicelulose.

Existem diferentes processos que são utilizados para que se extraia a celulose das células vegetais, sendo alguns mecânicos enquanto outros exclusivamente químicos. De todos, o processo mais utilizado no Brasil para produção da celulose é o Kraft, um processo químico pelo qual se obtém a celulose de sulfato. Ainda que existam outros processos, este será objeto de descrição nesse documento, exatamente por ser o mais utilizado no Brasil. O estado da arte de tal processo é compreendido basicamente por três grandes áreas: a Linha de Fibras; a Recuperação Química; e Utilidades. (FRACARO, 2012)

Figura 8: Ilustração do Processo de Fabricação de Celulose e Papel

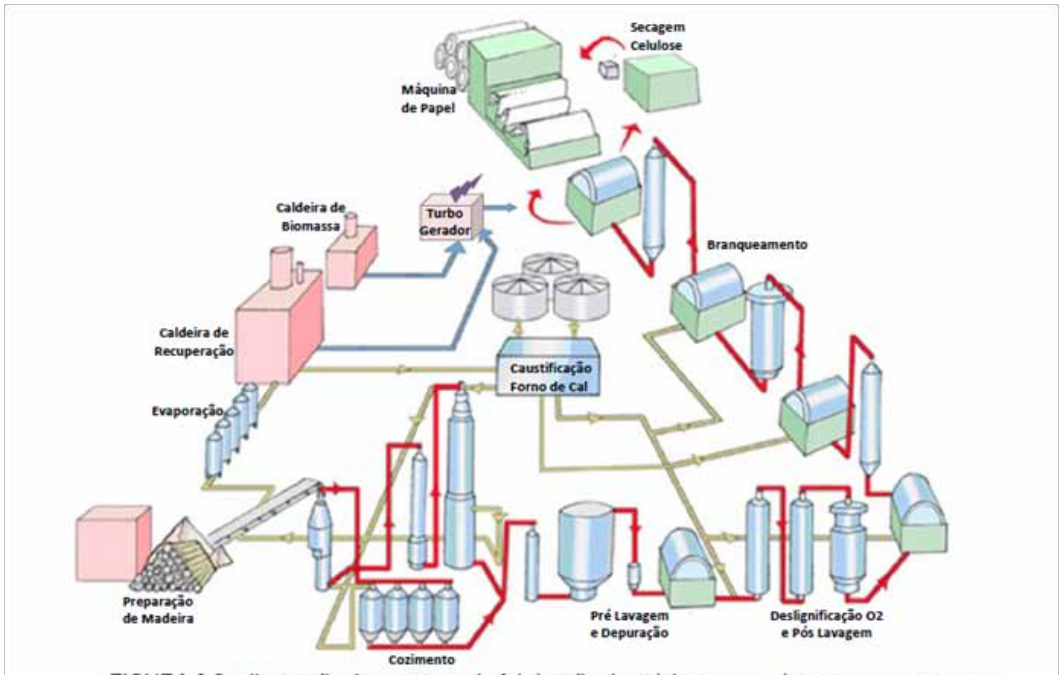


FIGURA 3.2 – Ilustração do processo de fabricação de celulose e papel. *Fonte :KPB Sweden, 2004*

A Linha de Fibras é a etapa do processo produtivo que lida diretamente com a madeira e com seus subprodutos diretos processados ao longo da fabricação, de forma que ele se estende desde a preparação da madeira para a produção de celulose até o produto final, a celulose branqueada.

As etapas dessa parte do processo, que serão mais bem exploradas a seguir, compreendem a preparação da madeira; o cozimento; a pré-lavagem e depuração; a deslignificação com O2 e pós-lavagem; o branqueamento e secagem; e a embalagem da celulose, tal como apresentado na figura 8. Além disso, também são consideradas partes dessa etapa, a planta química de produção de dióxido de cloro, para as unidades fabris que a contém, e as instalações de armazenamento de peróxido de hidrogênio e soda cáustica, duas substâncias importantes no processo que são utilizadas basicamente para o branqueamento da celulose.

O processo de Recuperação Química abarca as partes de evaporação e stripping, as caldeiras de recuperação, caustificação e forno de cal, o qual fornece CO2 para produção de carbonato de cálcio utilizado na produção de papel. Também são parte da recuperação a armazenagem e preparação de enxofre e soda cáustica rayon. O processo de recuperação é extremamente importante, pois ele recupera, com o mínimo de perdas, os compostos inorgânicos na forma de licor branco; e gera vapor superaquecido (i.e. energia térmica) e eletricidade para as plantas de produção de celulose.

Já na área de Utilidades são considerados o tratamento de água e de efluentes, a desmineralização da água para caldeiras, a caldeira de biomassa, a caldeira de óleo, as turbinas e geradores, os compressores e distribuição de ar comprimido e a distribuição de energia elétrica e vapor.

Como apresentado, o processo de produção da celulose é iniciado com a etapa de Linha de Fibras, em particular, com a preparação da madeira. A preparação da madeira consiste em receber as toras de madeira proveniente das florestas, descascá-las pela fricção de umas com outras em tambor rotativo, e encaminhá-las ao picador, o qual as transforma em cavacos, que são pequenos pedaços de madeira. Após a picagem, ocorre a peneiragem e seleção de cavacos, dentro do tamanho estabelecido como ótimo na planta para que ocorra a melhor penetração do licor branco[5], mistura de substâncias químicas utilizadas no processo de cozimento, a próxima etapa do processo produtivo. As cascas e os resíduos de madeira advindos da etapa de preparação seguem para a caldeira de biomassa, onde serão queimados para geração de energia.

É na etapa de cozimento, que dura cerca de duas horas, que ocorre a dissolução da lignina da lamela média e da parede da fibra das células vegetais. Para tal, os cavacos são submetidos a temperaturas da ordem de 145oC a 180oC e a pressão em digestores e reagem com a parte ativa do licor branco, um solução composta principalmente de soda cáustica (NaOH) e sulfeto de sódio (Na2S). Como resultado final dessa etapa obtém-se a polpa, que segue para a próxima etapa, e o licor negro, resíduo que é basicamente a lignina e outros sais inorgânicos presentes na madeira misturados ao licor branco. Nas plantas mais modernas, o licor negro segue para evaporadores, a fim de aumentar sua concentração e aumentar a eficiência de sua combustão. Em seguida, o licor negro segue para a caldeira de recuperação onde também é queimado para gerar energia.

5 Solução composta principalmente de soda cáustica (NaOH) e sulfeto de sódio (Na2S).

Após o cozimento, a próxima etapa do processo produtivo é a deslignificação com oxigênio. Contudo, antes da deslignificação com oxigênio, deve-se realizar a pré-lavagem da polpa para viabilizar a reação de deslignificação com a soda cáustica e o oxigênio nessa etapa. A pré-lavagem é necessária visto que nem todo o licor preto, resíduo do processo de cozimento, é eliminado na etapa anterior, já que parte dele continua mesclada à polpa nessa etapa do processo. Uma vez lavada, a polpa segue para a deslignificação com oxigênio. Em seguida, a polpa é encaminhada ao processo de pós-lavagem, que tem como objetivo separar o ainda restante licor preto fraco da polpa. Todo o licor preto lavado ao longo dessa etapa também segue para evaporadores para em seguida serem encaminhados para as caldeiras de recuperação.

Uma vez finalizada a deslignificação, a celulose segue para as etapas de branqueamento e de secagem. Como o nome indica, o objetivo do branqueamento é branquear e limpar a polpa de substâncias que absorvem luz, sendo basicamente produtos de degradação de lignina, carboidratos e de extrativos de madeira. Assim, a polpa branqueada passa por um processo final de remoção de impurezas, para depois ser prensada e seca em uma máquina secadora (e.g. túnel secador), atingindo um teor seco da ordem de 90%. A parte final do processo consiste em cortar a celulose branqueada e embalá-la. Em usinas integradas de celulose e papel, onde ocorre a produção de ambos os produtos, a celulose produzida é diretamente bombeada para a produção de papel, eliminando-se a etapa final de secagem e embalagem.

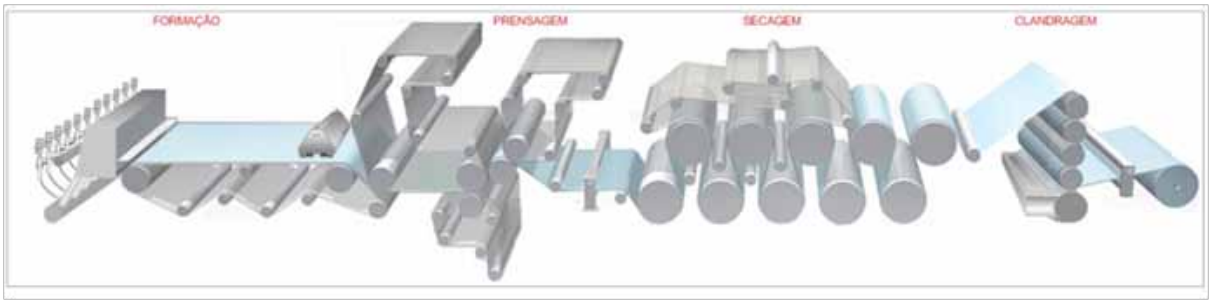
Nos processos mecânicos de produção de celulose, a dissociação das fibras da madeira é realizada por desfibriladores de pedras ou por discos rotativos de metal. O que se vê é que em processos mecânicos a taxa de obtenção de celulose por volume de madeira é em maior. Enquanto isso pelo processo Kraft obtém-se uma conversão de cerca de 45% do total de madeira em celulose, pelo mecânico esse percentual chega a 90% (FRACARO, 21012).

Por conta disso, a celulose que é resultante do processo mecânico de produção é conhecida como pasta de alto rendimento. Assim, as pastas de alto rendimento contêm um alto teor de lignina e, por isso, tendem a ficar amareladas mais rapidamente. Essa característica faz que a celulose mecânica seja considerada um bem de menor qualidade e seja utilizada para a fabricação de papéis menos nobres, como o papel de imprensa (JUDD e JEFFERSON, 2003; VAKKILAINEN e KIVISTÖ, 2010).

Outro tipo de celulose, é a celulose semiquímica. Essa celulose é chamada assim pois os cavacos de madeira são submetidos a tratamentos químicos, que não são tão agressivos quanto os realizados para obtenção da celulose química. Contudo, tal celulose também contém um valor acentuado de lignina, de forma que o amarelamento observável na pasta de alto rendimento também está presente na celulose semiquímica, o que, por sua vez, inviabiliza seu uso para a fabricação de papéis mais nobres. Entre os diversos processos produtivos para obtenção da celulose semiquímica, destaca-se o de obtenção da pasta semiquímica neutra em sulfito.

De forma geral, o processo produtivo do papel é composto fundamentalmente de quatro etapas: a preparação da massa, a prensagem, a secagem térmica e o acabamento. Durante a preparação da massa, água e outros sais importantes são adicionados à celulose. Ainda na fase de preparação da massa celulósica, o composto passa por um processo de refino, por meio do qual se confere maior resistência ao papel, e também pela depuração, em que se adiciona substâncias químicas importantes para a massa, tal como o amido. Uma vez limpa, tal massa é depositada na mesa plana através da caixa de entrada, em que a gramatura do papel é definida de acordo com a quantidade de massa que é adicionada. Em seguida, ela é pressionada entre rolos, para depois ser seca e uniformizada, através da regularização da superfície obtida com o processo de calandragem. Em seguida, o rolo-mãe é cortado e embalado para que sejam enviados aos clientes finais. A figura abaixo ilustra o processo produtivo de papel:

Figura 9: Ilustração de uma Máquina de Papel



2.4 Principais Fontes de Emissões de GEE

2.4.1 Decorrentes do Processo Industrial

Ainda que as emissões de GEE relacionadas ao processo industrial para produção de papel e celulose sejam pequenas, a produção da celulose química, realizada prioritariamente pelo processo Kraft, é emissor indireto de GEE. Dessa forma, durante a preparação da celulose pelo processo Kraft, reações químicas são fonte de emissões de CO, NOx e NMVOC, que apesar de não serem GEE diretos, são precursores e citados no inventário nacional (ICFPA, 2005; MCT,2005):

Tabela 6: Emissões Relativas à Produção de Celulose no Brasil

Gás	1990	1994	2000	2005	Variação 1990-2005
	(Gg)				(%)
CO	20,1	28,7	37,2	52,6	161,5
NO_x	5,4	7,7	10,0	14,1	161,5
NMVOC	13,3	19,0	24,6	34,8	161,5

Fonte: MCT, 2005

Para efeitos da projeção de emissões realizada nessa nota técnica tais emissões são desconsideradas.

2.4.2 Decorrentes da Geração de Energia Térmica

O consumo de combustíveis para geração de energia térmica em forma de vapor e calor é a maior fonte de geração de GEE nas indústrias de papel e celulose. A energia térmica utilizada é obtida pela queima de diversos tipos de combustíveis, sendo que no setor de papel e celulose são predominantes o gás natural, carvão vapor, lenha (resíduos de madeira), bagaço de cana, lixívia (licor negro), óleo diesel, óleo combustível e gás liquefeito de petróleo (GLP).

A produção de papel e celulose em 2001 era de 17.790×10^3 t, em 2005 cresceu para 18.960×10^3 t e em 2010 alcançou o valor de 24.318x103 t, um aumento superior a 61% quando comparado a 2001, proporcional ao aumento no consumo de energia, que no mesmo período foi da ordem de 63%.

Os principais combustíveis não renováveis consumidos no período foram o óleo diesel, GLP, óleo combustível e gás natural. Em 2001, os combustíveis não renováveis eram responsáveis pela geração de 52.966 TJ da energia consumida pelo setor, já em 2005 respondiam pela geração de 53.091 TJ, em 2010 os combustíveis não renováveis geravam 42.156 TJ de energia, o que significa uma redução, em valores absolutos de 7,2%.

Os principais combustíveis renováveis consumidos foram o carvão vapor, lenha (resíduos de madeira), bagaço de cana e lixívia (licor negro). Em 2001 os combustíveis renováveis respondiam pela geração de 162.623 TJ da energia consumida pelo setor, valor que em 2005 foi de 215.296 TJ e em 2010 se apresentou como responsável por 303.432 TJ da energia consumida, ou seja, um acréscimo, em valores absolutos de 86,6%.

O consumo total de energia do setor de papel e celulose em 2001 foi de 215.547 TJ evoluindo para 268.554 TJ em 2005 e em 2010 o consumo total de energia do setor, excluída a energia elétrica foi de 352.546 TJ representando um aumento de 63,6% em relação a 2001.

A participação de energia gerada por combustíveis de fontes não renováveis em 2001 era de aproximadamente 20,6%, evoluindo para 16,5% em 2005 enquanto que, em 2010 essa participação foi reduzida a 11,7% do total, da mesma forma, a participação na matriz de energia do setor dos combustíveis de fontes renováveis subiu de 63% em 2001 para 66,9% em 2005 e em 2010 se apresentava como 71,9% do total.

Considerando que, as emissões de GEE são proporcionais ao consumo de combustíveis de fontes não renováveis, uma redução na utilização desses combustíveis acarretará diminuição nas emissões. Todos os dados apresentados constam em (MME, 2011).

2.4.3 Decorrentes do Uso de Energia Elétrica

O fator de emissão de CO2 da rede de distribuição do Brasil a cada ano, por conta de alterações sazonais da matriz de geração de contribuição.

O consumo de eletricidade no setor de papel e celulose no período de 2001 a 2010 variou de 11.777 GWh para 19.253 GWh por ano, incremento de 63,5%, compatível com o acréscimo de produção de 61% ocorrido no mesmo período. (MME, 2011)

Informações consistentes referentes à autogeração de eletricidade pelo setor estão disponíveis a partir de 2007 e demonstram que a participação da autogeração na matriz de consumo de eletricidade se manteve estável e da ordem de 50%.

Considerando que o fator de emissão da rede brasileira está disponível também a partir de 2007 e apresenta valores de 0,0293 tCO2/MWh em 2007; 0.0484 tCO2/MWh em 2008; 0.0246 tCO2/Mwh em 2009 e 0.0512 tCO2/MWh em 2010, uma análise simples das emissões de CO2 devidas à importação de eletricidade da rede de distribuição não pode ser levada a termo pois acréscimos ou reduções das emissões não estão necessariamente ligadas à variação do consumo. (MCT, 2002)

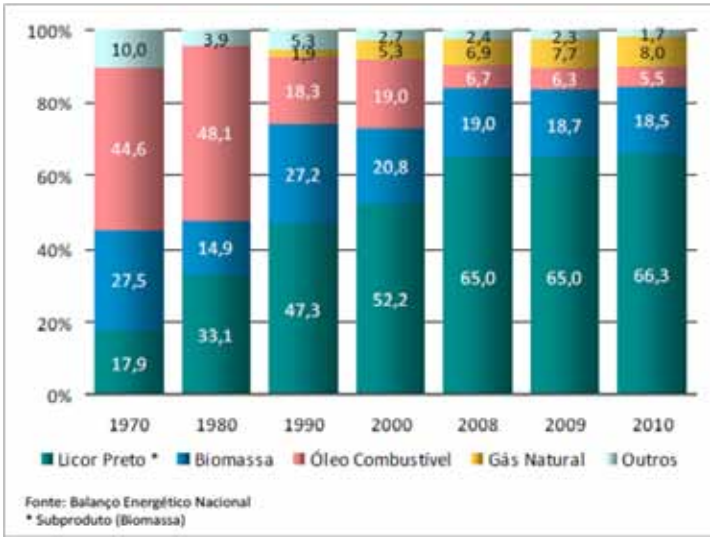
Uma análise na evolução das emissões está descrita na seção de Projeção de Emissões da Indústria de Papel e Celulose, levando em consideração o consumo, a autogeração e o fator de emissão da rede.

3. Opções Tecnológicas de Mitigação de GEE

As indústrias do setor de papel e celulose caracterizam-se pela utilização intensiva de energia em seus processos produtivos, sendo inclusive sua geração a principal fonte de emissões de GEE desse setor. Dessa forma, qualquer política de mitigação de emissões de GEE passa, necessariamente, pela continua melhoria da composição da matriz energética do setor.

Nesse sentido, é notável a melhoria da matriz energética do setor de papel e celulose brasileiro. Ao longo dos últimos 30 anos, o setor reduziu consideravelmente suas emissões de GEE associadas à geração de energia. Em meados da década de 1970, mais de 50% da matriz energética era oriunda de combustíveis fósseis, enquanto em 2010, esse montante foi reduzido para cerca de 15%, tal como aponta a figura abaixo:

Figura 10: Evolução da Matriz de Geração de Energia do Setor de Papel e Celulose



Como apresentado, em relação a outros setores da indústria, os processos industriais do setor de papel e celulose apresentam fontes de emissão de GEE bastante pequenas. Entretanto, melhorias de eficiência nos processos produtivos que resultem, entre outros benefícios, em reduções de emissões de CO, NOx e de NMVOC e também do consumo de energia térmica e elétrica devem ser considerados.

Além disso, da mesma forma que faz parte do setor dois componentes, o florestal e o industrial, as medidas de mitigação de GEE do setor também devem englobar majoritariamente esses dois componentes principais. Essa seção terá como foco as opções de mitigação relacionadas ao componente industrial, que engloba os processos industrias e a geração de energia das indústrias desse setor. Uma vez que a indústria de papel e celulose é intensiva no uso de energia, esse componente é de suma importância para o levantamento das suas opções de mitigação de GEE.

Já o componente florestal, que engloba as florestas de produção do setor e seu respectivo manejo, apesar de também ser parte imprescindível para as atividades do setor, não será abordado nessa seção. Os diferentes aspectos desse componente, bem como um esclarecimento de como ele se relaciona com o escopo dessa nota técnica, serão mais bem explorado na seção "Componente Florestal da Indústria de Papel e Celulose".

3.1 Componente Industrial

A componente industrial engloba as opções de mitigação de GEE relativas ao processo industrial de celulose e papel, bem como de geração e uso de energia por parte do setor. Embora o setor de papel e celulose no Brasil seja uma indústria de intensidade carbônica menor em relação aos outros setores industriais, são diversas as oportunidades de mitigação de GEE que podem ser adotadas.

Em termos gerais, cabe citar que parte das opções de mitigação do setor, está diretamente relacionada à implantação de medidas de eficiência energética por parte da indústria. Thollander e Ottosson (2008) realizaram uma pesquisa que pretendia entender as barreiras à implementação de medidas de eficiência energética no setor de papel e celulose da Suécia e muitas delas são aplicáveis ao Brasil. O estudo contemplou 59 empresas daquele país e apontou que elas estavam relacionadas aos riscos de implementação da eficiência energética, tais como interrupções na produção e custos relacionados a possíveis interrupções na produção, à inadequação da tecnologia na fábrica, à falta de tempo, a outras prioridades e a falta de acesso ao capital destinado a esse fim.

Como será apresentado a seguir, existem barreiras e desafios, além dos supra apresentados, específicos que contribuem para que cada uma dessas opções tecnológicas não seja encontrada no parque industrial do setor. Merecem destaque, sobretudo a baixa maturidade tecnológica de algumas opções, o que inviabiliza sua adoção por falta de produção de bens de

capital em escala industrial; o alto custo de capital para implantação de algumas tecnologias, o que dificulta sua incorporação por pequenos produtores; a falta de estímulos governamentais para adoção de tecnologias de baixo carbono; os altos custos de parada para implantação de tecnologias; dentre outras.

O que se observa é que a continua adoção por parte do setor das opções tecnológicas disponíveis de baixo carbono em suas plantas, representa uma fonte considerável de mitigação de GEE e deve ser cautelosamente avaliadas. Ainda assim, as tecnologias aqui apresentadas devem ser consideradas com cuidado, já que algumas delas não são passíveis de implantação imediata nos parques industriais do Brasil.

3.1.1 Aplicadas ao Processo Industrial

3.1.1.1 Aplicadas à Produção de Celulose

Como apresentado, o processo Kraft de produção de celulose é o mais utilizado no Brasil. Em um moinho típico Kraft, a extração e reutilização dos produtos químicos do cozimento consistem em três etapas: a concentração de lixívia (licor negro), recuperação de energia e a recaustificação do licor restante.

Dentre as diversas tecnologias inovadoras para os processos de produção de celulose que atualmente estão em desenvolvimento, duas se sobressaem, quais sejam a "Caustificação Eletrolítica Direta" e a "Gaseificação da Lixívia". Embora o desenvolvimento dessas tecnologias esteja em estado avançado, sua implementação em larga escala tem limitações relevantes quanto à disponibilidade tecnológica existente e quanto à sua viabilidade financeira (LBLN, 2000). São elas:

Caustificação Eletrolítica Direta

A concentração de lixívia (licor negro) ocorre geralmente em evaporadores de efeito múltiplo e evaporadores de contato direto para elevar a concentração final de sólidos final para 70-80%. A lixívia é pulverizada para dentro da caldeira de recuperação, onde a água restante evapora.

Os componentes orgânicos dos sólidos queimam, libertando assim o calor que seca a lixívia transferindo-a para os tubos da caldeira para a geração de calor. O calor dessa combustão derrete os produtos químicos inorgânicos restantes, que fluem da fornalha e estão prontos para recaustificação.

O material fundido da caldeira de recuperação é misturado com um pouco de licor branco fraco para formar licor verde. O licor verde, que consiste principalmente de carbonato de sódio (Na2CO3) e sulfeto de sódio (Na2S), é recaustificado pela adição de hidróxido de cálcio (Ca(OH)2) sob condições controladas de temperatura e agitação. Esta recaustificação converte

o carbonato de sódio novamente em hidróxido de sódio (NaOH) e deixa-se um precipitado de carbonato de cálcio (CaCO3).

O precipitado é removido, deixando licor branco, que pode ser reutilizado para produzir mais celulose de madeira. O precipitado de carbonato de cálcio também realimenta o processo no forno de cal, onde é aquecido para produzir cal (CaO), que é então dissolvido em água para produzir o hidróxido de cálcio utilizado na recaustificação.

A caustificação eletrolítica direta é um processo em que, em vez de utilizar o equipamento e o processo de caustificação tradicional, uma célula eletrolítica é utilizada para remover o carbonato em uma solução fundida de carbonato de sódio, sulfureto de sódio e sulfato de sódio. O carbono (a partir do carbonato) é removido do sistema sob a forma de monóxido de carbono e dióxido de carbono. O óxido de sódio (Na2O), o produto eletrolítico desejado, entra em contato com água para produzir hidróxido de sódio (NaOH). Esse produto é então utilizado para a produção de licor branco do início do ciclo Kraft (Wartena, 2000).

A tecnologia é compatível com a fusão produzida a partir do ciclo combinado de gaseificação da lixívia (licor negro) e pode ser um componente de desenhos de fábricas mais avançadas (Pfromm, 2000).

Em uma base final de energia, a caustificação utilizando células eletrolíticas deverá consumir menos do que as configurações das plantas existentes de forno de cal. Entretanto, uma vez que a produção de eletricidade é atualmente associada com perdas de cerca de dois terços do valor de aquecimento inicial dos combustíveis na planta de alimentação, numa base de energia primária o consumo das células espera-se ser igual ou ligeiramente inferior aos sistemas existentes.

O atrativo desta tecnologia é a economia de custos de capital. Todos os equipamentos caustificação de uma fábrica de 1.000 toneladas por dia seriam substituídos por uma célula eletrolítica (5m2) (DOE, 1998). A abordagem eletroquímica também se propõe a simplificar o controle do processo e melhorar a qualidade do produto.

Gaseificação de Lixívia (licor negro)

Na indústria de celulose, no processo Kraft de fabricação, o líquido remanescente do processo de deslignificação dos cavacos de madeira (lixívia ou licor negro), usualmente é utilizado como combustível e queimado em caldeiras de recuperação, assim denominadas porque a queima do licor negro é utilizada para recuperar parte dos componentes químicos utilizados no processo de deslignificação.

O teor de umidade relativamente alto da lixívia implica em uma eficiência limitada das caldeiras de recuperação. Sua capacidade de cogeração de energia elétrica também é reduzida, uma vez que as caldeiras de recuperação produzem vapor a baixa pressão, por razões de segurança.

Uma das novas tecnologias sendo desenvolvidas como uma alternativa para a combustão direta da lixívia (licor negro) é sua gaseificação e subsequente combustão em turbinas concebidas para utilizar o gás da lixívia com seu baixo poder energético. A gaseificação da lixívia (licor negro) a converte em uma fonte de energia mais eficientemente utilizável (Worrell et al., 1997).

Embora também existam tecnologias direcionadas exclusivamente a gaseificação, nesta avaliação foca-se a tecnologia de turbina ciclo combinada, associada à gaseificação. Essa combinação de tecnologias tem potencial para produzir mais energia elétrica do que os atuais sistemas de caldeira / turbina a vapor.

Os dois principais tipos de gaseificação são de baixa temperatura / fase sólida e de alta temperatura / fase de fusão. A gaseificação produz um gás combustível que tem de ser limpo para remover as impurezas indesejáveis para o sistema de alimentação e para recuperar os produtos químicos da deslignificação.

A gaseificação de baixa temperatura baseia-se num leito fluidizado à pressão atmosférica e uma temperatura de 700 ° C ou menor, abaixo do ponto de fusão dos sais inorgânicos que compreendem a maior parte da composição da lixívia.

Gaseificação a alta temperatura ocorre a uma pressão de 2,5 Mpa e acima do ponto de fusão dos sais inorgânicos, 950 ° C, e os produtos químicos são recuperados em estado de fusão. As temperaturas mais elevadas levam a maiores taxas de conversão de carbono, mas também podem conduzir a corrosão maior no reator (Worrell et al., 1997). O gás de síntese (produzindo vapor de baixa pressão) é limpo antes de ser queimado na turbina.

Embora sejam necessários incrementos nas entradas de combustível para os sistemas de gaseificação, e também entradas maiores de eletricidade sejam necessárias (especialmente para a compressão do gás no sistema de ciclo combinado), a eficiência energética é muito mais elevada, permitindo assim uma significativa economia de energia primária.

Os sistemas de gaseificação também deverão melhorar o desempenho ambiental, com menor emissão de materiais particulados e menos óxidos de nitrogênio do que em sistemas convencionais (OIT, 1999). Finalmente, os gaseificadores são menos propensos a explodir, o que propicia benefícios adicionais de segurança.

As oportunidades para essa tecnologia são grandes. A maioria das caldeiras de recuperação de energia convencionais existentes nas fábricas de celulose é relativamente antiga e terá de ser substituída ou reformada em um futuro próximo.

No entanto, pesquisas adicionais e comprovação são necessárias antes de a inovação ganhar a aceitação do mercado. Algumas áreas chave incluem: adequado desenvolvimento de sistema de limpeza para o gás, o que aumenta sua confiabilidade; demonstração da relação custo-benefício de recuperação química e da integração geral do sistema (Larson et al., 1997). Contudo, o alto custo de capital necessário para a implementação dessa tecnologia é uma barreira para sua adoção, principalmente por parte de pequenas unidades fabris.

3.1.1.2 Aplicadas à Produção de Papel

A fabricação de papel é geralmente dividida em quatro etapas básicas: 1) formação de estoque e formatação, 2) prensagem (desidratação mecânica), 3) secagem e 4) acabamento.

Dessas etapas, a secagem é a mais intensiva em energia, uma vez que exige a evaporação da água. Nessas circunstâncias, serão abordadas três inovações tecnológicas que estão em desenvolvimento e, portanto, sua implantação nas plantas brasileiras está associada a barreiras severas. Essas tecnologias estão sobretudo apontadas nesse trabalho por serem interessantes do ponto de vista do consumo de energia e redução de emissão de GEE, ainda que sua viabilidade técnica e financeira não seja grande. São elas: (LBLN, 2000):

Secagem Mecânica em Correia Condensadora

Nas atuais práticas de secagem, após a folha de papel ser formada e prensada, a água não mais pode ser removida mecanicamente, a folha se move através de uma série de 40-50 cilindros aquecidos a vapor, com a consistência final sendo cerca de 90-95 % de teor de sólidos.

Com a tecnologia de secagem em correia de condensação (ou Condebelt), o papel é seco numa câmara de secagem por contacto com uma banda contínua de aço quente, aquecido ou por vapor ou gás quente, em vez da secagem ser executada através os cilindros aquecidos por vapor.

No outro lado da folha são três camadas: uma rede metálica fina, uma rede de arame grossa e uma banda de aço externamente resfriada. A água evaporada passa através da rede metálica e se condensa sobre a banda de aço. O condensado é removido por pressão e sucção (de Beer, 1998).

O benefício da tecnologia Condebelt é que tem o potencial para substituir completamente a seção de secagem de uma máquina de papel convencional, e tem uma taxa de secagem 5-15 vezes maior do que os métodos convencionais (Lehtinen, 1995).

Enquanto parece haver poucas barreiras técnicas para essa tecnologia, ela ainda precisa ser comprovada para uma variedade de tipos de papel (além de linerboard).

Formação de Folha Seca

Na etapa de formação, a pasta fluída contínua que foi preparada é formatada dentro de uma trama uniforme. Embora originalmente concebida como uma tecnologia de papel, a formação de folha seca se desenvolveu em seu nicho próprio, na indústria de não-tecidos, que envolve a produção de materiais absorventes leves como papéis, utilizados em produtos de higiene pessoal. Na formação de folha seca, os não tecidos são produzidos sem a adição de água.

A vantagem da formação de folha seca é a economia significativa na energia necessária para a evaporação da água da folha na fase posterior de secagem. Os produtos primários atualmente sendo produzidos com essa tecnologia são produtos de higiene pessoal (fraldas, higiene feminina, incontinência de adultos, calças de treinamento para bebês, lenços umedecidos, etc.), e algumas áreas de especialidade (utensílios de mesa, produtos médicos, etc.).

Estima-se que, na aplicação dessa tecnologia para a indústria de papel, os custos de investimento direto poderiam ser de um terço a metade dos de uma fábrica de papel convencional não integrada. Além disso, espera-se que os custos de operação e manutenção também sejam menores (de Beer, 1998). No entanto, a tecnologia não tem a mesma velocidade das máquinas produtoras de papel (1.500 m / min., em comparação com até 6000 m / min. em máquinas de papel convencionais) (Pivko, 2000). Dessa forma, a perda de velocidade na produção é a maior barreira para implementação da tecnologia.

Secagem por Impulso

Nas atuais práticas de secagem, após a folha de papel ser formada e prensada, a água não mais pode ser removida mecanicamente, a folha se move através de uma série de 40-50 cilindros aquecidos a vapor, com a consistência final sendo cerca de 90-95 % de teor de sólidos.

No fabrico de papel convencional a trama tem um teor de umidade de 45-50 % antes de entrar na seção de secagem. A secagem de impulso é uma tecnologia que melhora a desidratação mecânica do papel e reduz a quantidade de água que deve ser removida na seção de secagem. Na secagem por impulso a trama de papel é sujeita a temperaturas muito elevadas no mordente da prensa, a fim de conduzir a umidade para fora da trama de modo que o teor de umidade seja significativamente reduzido antes de entrar na fase de secagem (OIT 1999).

A tecnologia consiste em pressionar o papel entre um rolo rotativo muito quente e uma prensa côncava estática de sapata convencional. A pressão é de cerca de 10 vezes maior do que na prensa e secagem Condebelt (de Beer et al, 1998; Boerner et al., 1994).

Em última análise, a consistência da folha pode ser aumentada para papel leve utilizando secagem de impulso, entretanto, o papel tem ainda de ser alimentado por um sistema convencional de secagem após esta fase (de Beer, 1998). O secador de impulso pode ser instalado em uma máquina existente ou incorporado a novos modelos.

A seção de secagem também pode ser reduzida, resultando em menores custos de capital. Permite que uma fábrica de papel existente opere em velocidades maiores, e permite também que uma nova máquina de papel possa reduzir significativamente o número de rolos de secagem convencionais.

Esses novos métodos podem realmente melhorar a flexibilidade operacional da tecnologia. Ainda assim, há preocupação de que os obstáculos técnicos para a comercialização possam ser de difícil transposição (Ronkainen, 2000).

A criação de um mercado comercial para secagem de impulso ainda não se tornou uma realidade e o desenvolvimento de unidades de demonstração comercial em larga escala será necessário para possibilitar a transição dessa tecnologia para o mercado. Pesquisadores do Instituto de pesquisas de papel e celulose Sueco declarou que ainda há muito trabalho a ser feito antes da aplicação da comercial se tornar realidade (Luiten, 2000).

Reciclagem e Aumento do Uso de Aparas de Papel Usado

A reciclagem e a economia de materiais também poderiam estar inseridas no conjunto de medidas de eficiência energética, uma vez que podem trazer economia de energia, tanto da parcela embutida nos materiais novos produzidos como também na parcela das próprias matérias-primas virgens que são poupadas. (Henriques Jr., 2010)

Ainda que o reaproveitamento da fibra usada para produção de papel não seja infinito, seu uso substitui o consumo da polpa de celulose virgem, insumo bastante intenso em energia. Atualmente praticamente metade de todo papel produzido no mundo é proveniente de papel recuperado, cuja reciclagem se dá em localidades próximas de onde o papel usado está disponível (IEA, 2007), barateando o custo de transporte. As plantas de reciclagem tendem a ser menores e mais dispersas que as plantas de produção de papel primário e suas necessidades de energia externa para fabricação de papel são um pouco maiores. Porém, de outro lado, a energia que seria gasta na produção de celulose equivalente é a mesma quantidade de papel que é poupada.

Como essa economia na fabricação de polpa supera a energia adicional empregada na reciclagem, o balanço final resulta positivo para o setor. Assim, o efeito da reciclagem de papéis se encontra bem estabelecido quanto à eficiência energética. Mas seu impacto na redução das emissões é cercado de alguma controvérsia (IEA, 2007). Caso o aumento do uso da polpa reciclada, proveniente do reaproveitamento das aparas, venha a substituir a polpa química de

uma planta moderna de papel, obtida através do processo Kraft, pode acontecer um aumento das emissões líquidas de CO2, se for o caso de esta planta moderna ser neutra em CO2 ao empregar integralmente combustíveis renováveis em sua produção (lixívia e madeira plantada). Enquanto isso, uma fábrica independente com reciclagem poderia estar utilizando combustível fóssil, mantendo ou aumentando as emissões de CO2.

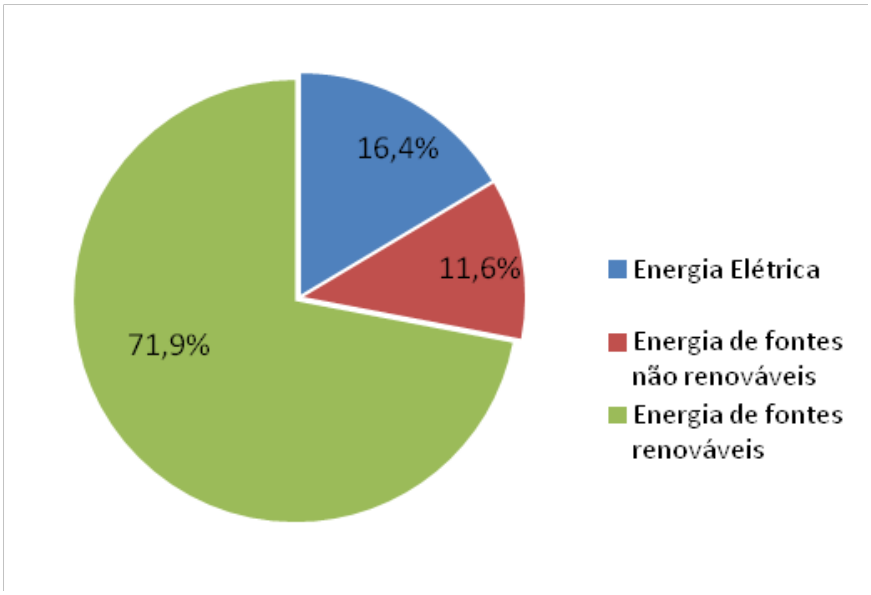
Outras Medidas de Eficiência Energética

Controles automáticos avançados dos sistemas produtivos envolvendo procedimentos de operação, controle e manutenção, se bem aplicados podem trazer aumento na capacidade de transformação (matéria prima – produto), recuperação de matéria-prima e insumos, redução no consumo de energia, diminuição de produtos fora de especificação e redução da mão de obra operacional, entre outros.

3.1.2 Aplicadas ao Uso de Energia Térmica

Inovações tecnológicas aplicadas à utilização de energia térmica, estão relacionadas à recomposição da matriz energética do setor de papel e celulose. A composição da matriz energética do setor em 2010, quanto a suas fontes, apresentou os seguintes resultados:

Figura 11: Matriz energética do setor de papel e celulose em 2010



Como é evidente, as fontes não renováveis têm participação diminuta na composição da matriz e são compostas, principalmente, por gás natural, óleo combustível, óleo diesel e GLP. A participação do óleo diesel e do GLP é ínfima, de forma que não é considerada.

Do ponto de vista das mudanças climáticas e em um contexto máximo de baixo carbono, um cenário interessante seria a substituição quase total das fontes não renováveis por fontes renováveis (biomassa). Tal implementação é viável do ponto de vista técnico e, prova disso é que já existem plantas de papel e celulose que geram quase a totalidade de sua energia a partir de fontes renováveis, tal como a planta de Mucuri (BA), da Suzano Papel e Celulose.

Ainda que o setor não possa reduzir a zero seu consumo de óleo combustível, as conversões para o gás natural comumente não apresentam dificuldades técnicas, sendo que exigem somente adaptações de baixo custo envolvendo a troca de queimadores. Contudo, é necessário que haja nas proximidades da planta uma rede de distribuição de gás natural, bem como garantias de fornecimento pela concessionária, o que geralmente não é uma decisão das empresas, ainda que elas possam contribuir para a construção de uma agenda nesse sentido. Logo, a opção de adotar tal substituição por parte das indústrias de papel e celulose, ainda que viável do ponto de vista técnico, está sujeita a disponibilidade de oferta de gás natural, algo que não depende somente das empresas.

Mesmo em situações em que o preço do gás natural não traz muita vantagem econômica numa análise direta, por eventuais altas de seu preço em relação ao do óleo combustível, outros ganhos indiretos precisam ser contabilizados, como por exemplo: a eliminação de sistemas de estoque de combustíveis líquidos e/ou sólidos e de seus custos; a possibilidade de melhorar a qualidade dos produtos proporcionada por melhor controle de queima; ganhos financeiros pelo pagamento posterior ao consumo efetivo; menor manutenção nas instalações de um modo geral, dentre outros (SCHWOB et al., 2009).

A substituição das fontes não renováveis por renováveis (biomassa), representadas por lenha, carvão vegetal e resíduos, tais como o cavaco de madeira, o bagaço de cana e a lixívia negra, também e é viável do ponto de vista técnico e vem sendo empregada em processos tradicionais de queima direta em fornos e caldeiras ou através de processo de gaseificação (gerando gás de baixo poder calorífico) (GHOSH et al. 2006). A queima direta, muito comum em vários setores, pode exigir alguma adaptação de equipamentos originais de queima ou mesmo a troca completa destes. Dependendo da biomassa, a queima pode se dar na forma de toras, briquetes, cavacos, serragem ou fardos.

Existem ainda diversos outros resíduos agrícolas, compreendendo cascas, palhas e biogás, que podem ser empregados em muitas situações. Segundo estudos apresentados no PNE 2030 (BRASIL, 2007), há ainda um enorme potencial para o aproveitamento desses resíduos provenientes de vários produtos agrícolas.

O preço de compra da biomassa por tonelada é menor que o dos combustíveis de fontes não renováveis (GN, óleo combustível, GLP e óleo diesel), todavia, seu poder calorífico é significativamente menor, e os custos para implantação e operação dos sistemas são mais elevados, inclusive demandando mais área disponível para estocagem da biomassa.

É importante também observar que a queima de biomassas sólidas geralmente apresenta algum desperdício por má combustão, já que não é raro encontrar equipamentos mal operados e com controle e automação deficientes (INT, 2005).

A utilização da lixívia (licor negro) como combustível é, seguramente, a condição mais favorável para a geração de energia, contudo, sua quantidade é proporcional à produção. Sendo assim, deve ser buscada a sua aplicação até o limite máximo de disponibilidade. Ainda assim, empresas de menor porte podem eventualmente enfrentar dificuldades quanto a utilização desse insumo energético, dado o alto custo de capital necessário para sua viabilização.

Ainda que se tenha realizado um estudo de viabilidade técnica, é importante ressaltar que não foi objetivo desse trabalho aprofundar o entendimento acerca da viabilidade econômica das substituições de combustíveis propostas. Para se implementar tal análise e para que, de fato, as empresas do setor tomem decisões nesse sentido, é de suma importância que se realize um estudo das Curvas de Custo Marginal (MACC) do setor e, assim, consiga-se ponderar o custo marginal de redução de cada uma das opções de baixo carbono citadas com seus respectivos potenciais de redução de emissões de GEE.

3.1.3 Aplicadas ao Uso de Energia Elétrica

Considerando que parte da energia elétrica consumida pelo setor de papel e celulose é importada da rede de distribuição brasileira, entende-se que essa parcela tem emissões de GEE que não estão sob o controle das empresas do setor, portanto caberia ao setor de geração de eletricidade do País a incumbência de melhorar seu desempenho.

Da parte das organizações do setor de papel e celulose, a autogeração proveniente de combustíveis renováveis poderia ser uma forma de baixo carbono eficiente e econômica de gerar a eletricidade que consome. Cabe salientar que a autogeração de eletricidade através de sistemas movidos por fontes não renováveis tem emissões de GEE mais intensas que a rede de distribuição brasileira, sabidamente menos emissora.

Dos sistemas de autogeração de eletricidade, o que mais se aplica para o setor é a cogeração, sistema que vem sendo empregado em grandes indústrias do setor de papel e celulose há muitas décadas.

A cogeração pode ser definida como a produção simultânea e sequenciada de energia térmica e elétrica, a partir de um mesmo combustível, possibilitando uma maior eficiência energética do sistema como um todo, em comparação com a produção independente das duas formas de energia. Além do ganho em eficiência energética, dependendo da escala do empreendimento e de outras variáveis (tais como preço do combustível, tarifa da energia elétrica, possibilidade de venda de excedente de energia, fator de carga etc.), a cogeração de energia pode se tornar

mais econômica e segura do que a energia elétrica adquirida das empresas distribuidoras, o que pode ser fundamental na escolha dessa tecnologia.

Os sistemas de baixo carbono atualmente disponíveis para cogeração de eletricidade são (Henriques Jr., 2010):

Ciclo vapor (Rankine)

Neste ciclo há a geração de vapor a alta pressão em caldeiras, gerando energia mecânica para o acionamento de turbinas a vapor acopladas a um gerador elétrico. Esse ciclo é empregado em instalações de maior porte (até 500 MW) (BRASIL, 2007).

As turbinas a vapor que são empregadas podem ser do tipo de contrapressão (BP) ou de condensação e extração (CEST), conforme as necessidades de calor no processo, disponibilidade de combustíveis e possibilidade de comercialização de excedentes de energia elétrica.

As turbinas de contrapressão, na expansão do vapor, liberam-no a uma pressão mais baixa e, geralmente, num patamar adequado para emprego em processos de aquecimento industrial. Havendo necessidade de vapor a uma pressão mais elevada, pode-se extraí-lo da turbina durante a fase de expansão.

Nas turbinas de condensação e expansão, extrai-se vapor à pressão desejada durante a fase de expansão, enquanto o restante continua expandindo até a condensação, gerando energia adicional. Nesse caso, a relação potência / calor é consequentemente mais alta, mas o ciclo global de cogeração tem eficiência menor.

Outras características do ciclo a vapor são: alto custo do kW, relação potência/calor variável numa ampla faixa, flexibilidade de operação, necessidade de grandes áreas para instalação e de grandes volumes de água (em particular para as turbinas de condensação e extração). Como a eficiência térmica do conjunto caldeira/turbina é relativamente mais baixa, o uso de combustíveis de maior custo, como o gás natural, pode não ser viável (AZEVEDO, 2006).

Nos sistemas ciclo Rankine, visando obter rendimentos energéticos mais elevados, existem algumas possibilidades que vêm sendo incorporadas pelas empresas como, por exemplo, o emprego do conjunto caldeiras/turbinas com pressões e temperaturas de vapor mais elevadas (FRANCELLINO, 2008). Embora esta prática não seja uma novidade tecnológica, pela possibilidade de venda de excedentes de energia elétrica, empresas no Brasil já vêm incorporando estes novos equipamentos, tanto em substituição aos equipamentos antigos já no final de suas vidas úteis, como nas plantas novas e expansões (DE SOUZA et al., 2006).

Ciclo combinado (combined-cycle gas turbine - CCGT)

Consiste na queima de gás em turbina acoplada a gerador elétrico seguindo o ciclo a gás anterior. O calor dos gases de combustão da turbina é recuperado em caldeira, onde há a produção de vapor a alta pressão, que irá acionar uma turbina a vapor acoplada a um segundo gerador elétrico (seguindo o ciclo Rankine). Esse arranjo possibilita potências de até 300 MW e, por conjugar dois ciclos, resulta em maior eficiência energética. Assim, o custo de produção de energia elétrica é mais baixo. Com o aumento da oferta de gás natural no Brasil a partir da implantação do gasoduto Bolívia-Brasil em 1999, surgiram vários empreendimentos industriais e comerciais no País.

Outra alternativa tecnológica de interesse para o ciclo combinado refere-se à gaseificação de biomassa (lenha e bagaço de cana). Essa tecnologia vem sendo desenvolvida (WALTER, 2003) e aparenta ser bastante atrativa para mercados específicos em que exista oferta de biomassa a baixo custo ou restrição ao uso de combustível fóssil, ou ainda custos elevados destes (BRASIL, 2007). A tecnologia consiste na gaseificação da biomassa e a queima do gás produzido em turbinas com injeção de vapor e ar a altas pressões (Biomass Integrated Gasifier to Combined Cycles - BIG-CC) (LARSON et al., 2001). Os rendimentos globais podem atingir de 55 a 60% (em ciclos combinados) (BRASIL, 2007).

No Brasil, as configurações de cogeração de energia predominantes são as de ciclo a vapor (ciclo Rankine), empregando turbinas de contrapressão, especialmente nos setores sucroalcooleiro (WALTER, 2003) e no de papel e celulose, e, mais recentemente, em ciclo combinado a gás natural (COGEN-SP, 2009).

4. Componente Florestal da Indústria de Papel e Celulose

Como apresentado ao longo do trabalho, estão contidos no setor de papel e celulose dois componente fundamentais: o industrial e o florestal. Dado que a nota técnica em questão tem como principal finalidade subsidiar o plano indústria de mudanças climáticas do MDIC, o qual estipula uma meta de redução de emissões de GEE associadas a energia e processos industriais, não foi objetivo do presente trabalho explorar as minúcias dos aspectos relativos ao componente florestal presentes no setor.

Embora se reconheça que tal componente é parte imprescindível do processo produtivo do setor de papel e celulose, não foram aprofundadas as pesquisas a esse respeito, de forma que não estão exaustivamente explanados temas como os desafios e barreiras associados às dificuldades de expansão das florestas plantadas; as opções tecnológicas disponíveis e em desenvolvimento para reduzir a pegada de carbono do setor com relação a gestão e manejo das florestas; etc. Contudo, ainda assim, apresenta-se uma breve discussão para que se entenda um pouco melhor o que é esse componente e como ele impacta e mitiga as mudanças climáticas.

O que se observa é que o setor de papel e celulose apresenta uma característica peculiar em relação à maioria dos demais setores da indústria: a necessidade de matéria-prima diretamente ligada à plantação de florestas, que são, por definição, sumidouros de carbono. No Brasil, essa questão tem um fator a mais. Diferentemente de diversos outros grandes produtores internacionais de papel e celulose, esse setor no Brasil tem de realizar investimentos consideráveis para a aquisição de terras e efetivação de plantios renováveis, o que, por sua vez, gera um diferencial substantivo em termos de custo de investimento. Não por acaso, o componente florestal representa uma relevante parte dos investimentos que são realizados pelo setor.

Logo, para esse setor, qualquer acréscimo em sua produção depende, necessariamente, de um crescimento da área plantada e também, consequentemente, da área de proteção ambiental correspondente. Assim, a ampliação das florestas plantadas está diretamente relacionada a aumentos na fixação de carbono pelo setor, sendo portanto um componente bastante significativo e relevante no cômputo líquido das suas emissões de GEE. Abaixo, apresenta-se a evolução das florestas de produção mantidas pelo setor:

Tabela 7: Evolução das Florestas Plantadas pelo Setor de Papel e Celulose

Ano	Espécie			Total
	Eucalipto	Pinus	Outros	
2000	979.188	415.346	21.403	1.415.937
2001	966.558	410.810	21.302	1.398.671
2002	1.038.809	400.477	17.837	1.457.123
2003	1.144.189	392.464	15.623	1.552.275
2004	1.177.423	383.304	10.660	1.571.387
2005	1.252.387	364.107	17.609	1.634.103
2006	1.320.482	343.727	11.453	1.675.661
2007	1.366.792	341.271	6.880	1.714.943
2009	1.837.000	388.000	26.000	2.251.000
2010	1.783.000	404.000	9.000	2.196.000

Fonte: Dados fornecidos pela BRACELPA.

Ainda que tal componente florestal esteja intrinsecamente relacionado com respectivos ganhos climáticos, a duração de tais ganhos está sujeita aos riscos de não permanência, em decorrência, por exemplo, de queimadas nas áreas que estocavam carbono. Dessa forma, tal estocagem de carbono só será de fato implementada caso haja manutenção das referidas florestas de produção e nativas.

Assim, e desconsiderando-se o efeito de não permanência, do ponto de vista das mudanças climáticas, quaisquer aumentos de florestas podem ser considerados fontes de mitigação de GEE. Atualmente, apenas por meio de suas florestas plantadas o setor estoca aproximadamente 440 MtCO2e, desconsiderando-se quaisquer emissões evitadas e remoções advindas de florestas nativas em conservação pelo setor. (Bracelpa, 2012b).

Apesar de tal componente ser, prioritariamente, sumidouro de carbono, ele também é fonte relevante de emissões de GEE, relacionadas sobretudo às técnicas de manejo florestal, ao uso de fertilizantes e ao transporte. Essas emissões geralmente têm menor escala que as demais fontes de emissão, advindas do componente industrial, mas par algumas empresas

ele são particularmente relevantes. A Bracelpa estima que atualmente o componente florestal represente cerca de 35% das emissões totais dessa indústria [5].

As taxas de crescimento das florestas plantadas do setor ao longo dos últimos anos foram expressivas, mas ainda assim, apresenta-se um potencial enorme de crescimento de sua base florestal. Concomitantemente a tal crescimento acompanha as respectivas remoção de GEE e um componente importante na mitigação às mudanças climáticas.

O setor enfrenta dificuldades para, de fato, conseguir fazer crescer a área de florestas, aumentar sua produção e a consequente remover mais GEE da atmosfera. São diversas as barreiras e incertezas que podem ser levantadas que contribuem para impedir a sua expansão. A valorização dos estoques de carbono adicionais é um componente importante para que investimentos maiores sejam feitos pelo setor. Atuam nesse sentido as restrições internacionais de comercializações de emissões associadas e a falta de valorização desses ativos por meio de mercados em nível doméstico.

Além disso, contribuem para que os investimentos em bases florestais não sejam maiores do que os verificados, os gargalos em infraestrutura, tais como os relacionados à transporte e logística (portuário, rodoviário e ferroviário), a complexidade do processo de licenciamento ambiental e as questões fundiárias.

Nesse contexto, a superação de tais barreiras e desafios contribuiria para que o setor expandisse suas florestas de produção e, assim, aumentasse sua produção industrial concomitantemente ao seu potencial de remoção de carbono de atmosfera.

5 A BRACELPA levanta a seguinte ressalva em relação a essa estimativa: com o objetivo de fazer um exercício inicial de decomposição do fator de emissões entre as componentes florestal e industrial, uma estimativa preliminar sugere que cerca de 35% do fator de emissões estimado pelo setor (esse fator faz parte do documento base da BRACELPA e está estimado atualmente em 0,35 tCO2eq / tonelada produzida) são referentes às emissões nas atividades de silvicultura (parte da componente florestal: preparo de solo, implantação, aplicação de fertilizantes químicos, colheita e transportes). Trata-se de estimativa preliminar, baseada no levantamento com poucas empresas do setor, para que se tenha uma ordem de grandeza.

5. Projeção de Emissões da Indústria de Papel e Celulose

5.1 Metodologia

5.1.1 Identificação das Fontes de Emissão de GEE

Considerando que o setor não apresenta emissões significativas de GEE em seus processos produtivos, suas principais emissões diretas são oriundas do consumo de combustíveis utilizados na geração de energia térmica, elétrica e mecânica;

No que se refere a emissões indiretas pelo uso de energias consumidas importadas de terceiros, a componente mais importante é a energia elétrica importada da rede de distribuição. Outras fontes como emissões fugitivas, importação de vapor, dentre outras, são de pequena monta e não foram consideradas.

5.1.2 Quantificação

As quantidades referentes à produção de papel e celulose ao longo do tempo foram tomadas do setor de estatísticas da FAO (FAO, 2011b). Base de dados de Produção, importação e exportação de produtos florestais.

As taxas de crescimento da produção para os períodos até 2020 foram utilizados como segue:

- *Taxa de 5% ao ano para o setor industrial utilizada para assunção do compromisso pelo MDIC referente ao período de 2005 a 2020;*
- *Taxa sugerida pela Bracelpa de 3,12% para o ano de 2012 e 4,54% para o período de 2013 a 2020.*

As quantidades referentes à energia consumida obtida através de combustíveis e importação de energia elétrica da rede de distribuição foram extraídas do Balanço Energético Nacional – BEN – 2011 (dados referentes a 2010) que é a fonte oficial do Governo Brasileiro quanto à energia consumida e gerada no Brasil.

5.1.3 Fatores de Emissão de GEE

Os fatores de emissão dos combustíveis considerados foram extraídos do "Intergovernmental Panel on Climate Change – 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories".

Os fatores de emissão da rede de energia elétrica do SIN foram extraídos das publicações atualizadas mensalmente no site oficial do MCT.

5.1.4 Cálculo de Emissões Totais de GEE

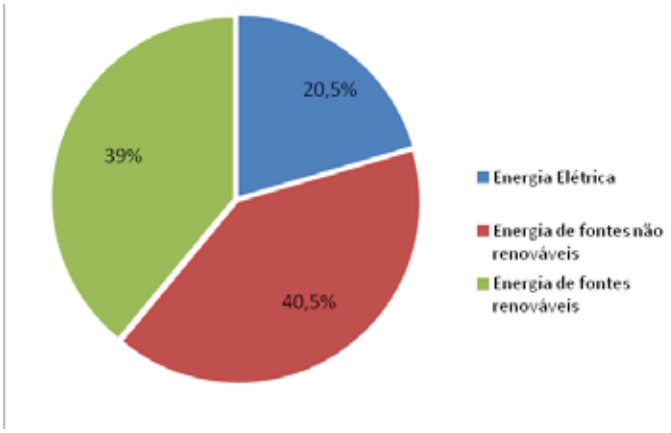
As emissões diretas de GEE foram calculadas multiplicando-se o valor da energia consumida gerada por um determinado combustível não renovável pelo seu respectivo fator de emissão. Quanto aos combustíveis renováveis, somente foram contabilizadas as emissões referentes ao metano e ao óxido nitroso, uma vez que não são reabsorvidas em sua renovação.

As emissões indiretas pelo uso de energia elétrica importada da rede de distribuição foram calculadas multiplicando o consumo de energia do ano pelo fator de emissão para uso em inventários publicado pelo MCT.

5.2 Análise da Evolução do Setor de Papel e Celulose no Período 2001 a 2010

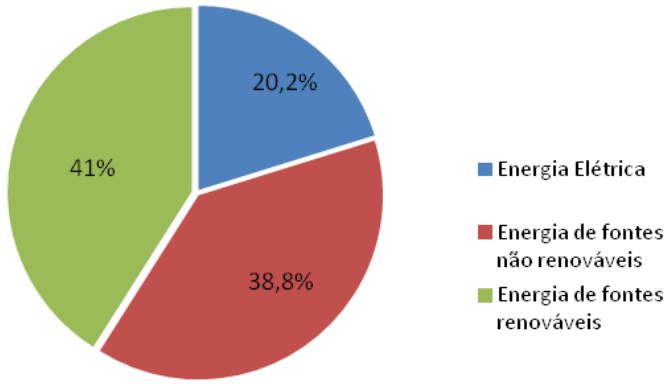
A composição da matriz energética do setor industrial brasileiro em 2005 (ano base de comparação) apresentava a seguinte composição:

Figura 12: Matriz Energética do Setor Industrial Brasileiro em 2005



Em 2010, com uma leve aumento de participação de fontes renováveis em sua composição, a matriz energética do setor industrial brasileiro passou a ter a seguinte composição:

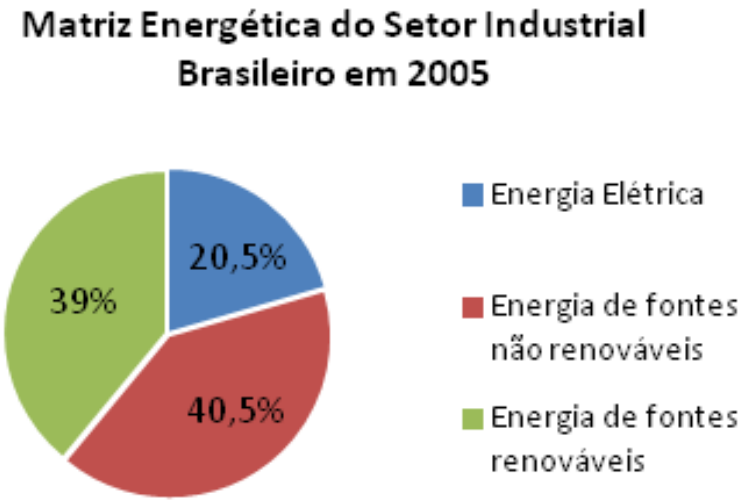
Figura 13: Matriz Energética do Setor Industrial Brasileiro em 2005

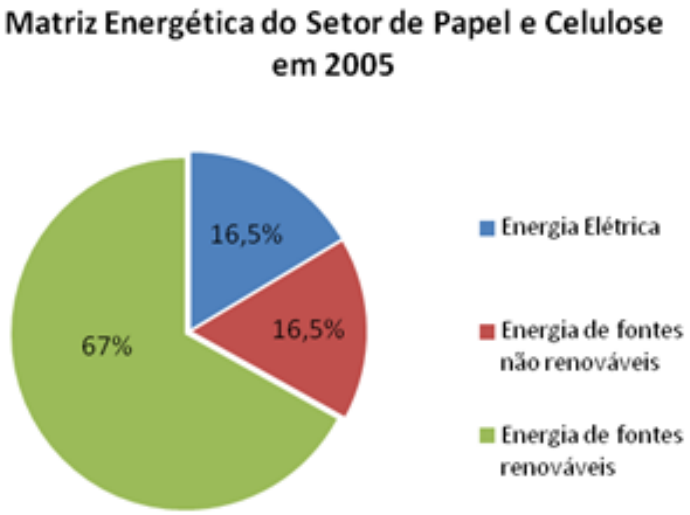


Entretanto, embora a composição da matriz energética apresentasse melhora em sua composição, houve, no período, um acréscimo de consumo de energia da ordem de 16,6%, que resultou em uma elevação das emissões de GEE para o setor em relação a 2005.

Se tomarmos a composição da matriz energética do setor industrial brasileiro no ano de 2005 como linha de base e compararmos com a composição da matriz do setor de papel e celulose teremos:

Figura 14: Comparação da Matriz Energética Industrial e Papel e Celulose

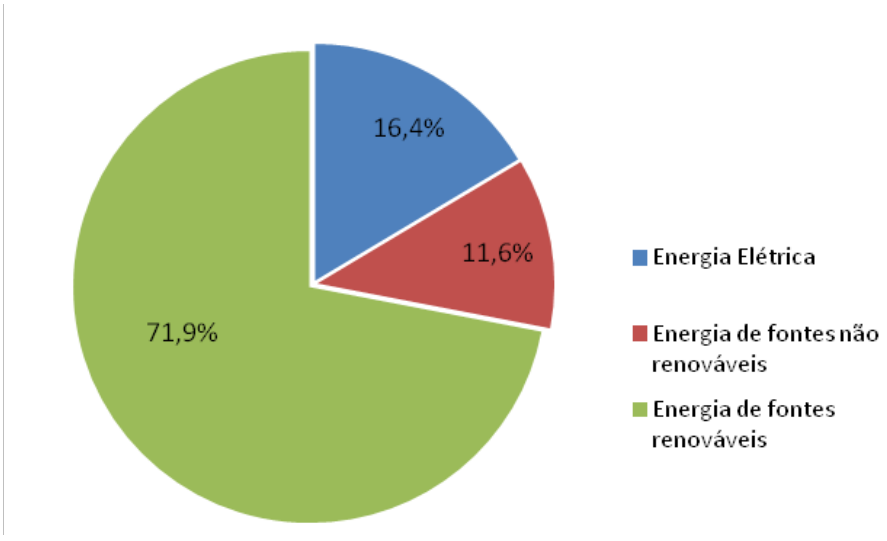




Percebe-se que a matriz energética do setor de papel e celulose brasileiro, em 2005, tinha uma composição especialmente favorável a baixas emissões de GEE quando comparada com a média do setor industrial brasileiro.

No período subsequente, até 2010, o setor de papel e celulose continuou a melhorar seu desempenho, chegando a uma composição da matriz energética ainda mais favorável, a saber:

Figura 15: Matriz Energética do Setor de Papel e Celulose Brasileiro em 2010



No período de 2005 a 2010, o setor de papel e celulose reduziu, em valores absolutos, suas emissões de GEE em 6,8% ou seja, cerca de 270.000 tCO2e.

5.3 Projeção de Emissões de GEE do Componente Industrial do Setor de Papel e Celulose

5.3.1 Projeção de Emissões de GEE segundo a meta proposta pelo MDIC

Dentro do âmbito do compromisso nacional de redução de emissões para a indústria, realizou-se um exercício para posicionar o setor de papel e celulose em relação às metas climáticas inicialmente estabelecidas pelo MDIC para a indústria como todo, qual seja de redução de 5% das emissões em 2020, com base em um taxa de crescimento das emissões de 5% ao ano, com ano base de 2005.

Cabe ressaltar que tal projeção não aponta a existência de uma meta setorial específica para o setor de papel e celulose. Apenas realizou-se um exercício para se entender como o setor em questão está em relação à meta para a indústria brasileira estabelecida pelo MDIC.

Para essa estimativa de emissões de GEE do setor de papel e celulose para o ano de 2020 considerou-se as seguintes premissas:

- *Apenas foram consideradas as emissões referentes à produção de papel e celulose, de forma que a captura e emissões de carbono advinda das florestas plantadas necessárias para viabilizar a referida produção não foi considerada;*

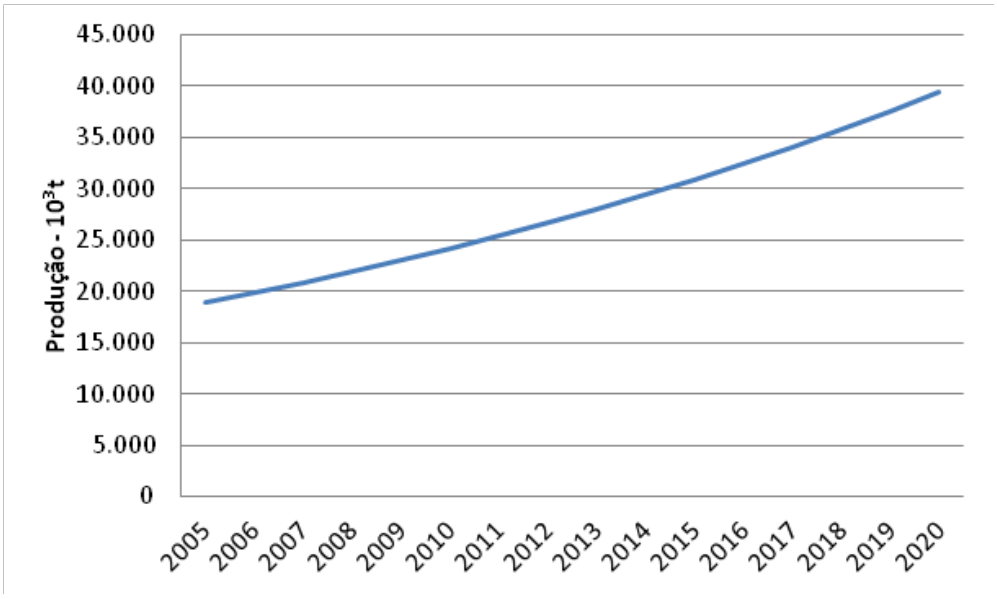
- *Para a estimativa da evolução da produção e das emissões de GEE foi considerado um acréscimo anual de 5% a partir de 2005 até 2020, nos moldes preconizados pelo compromisso assumido pelo MDIC.*
- *Somente foram levadas em conta as emissões referentes a processos industriais e energia;*
- *A composição da matriz energética do setor em 2005 foi mantida constante e inalterada até 2020.*

Com base no compromisso nacional voluntário assumido pelo Governo Brasileiro em 2009, o Cenário MDIC considera a evolução da produção do Setor de Papel e Celulose em 5% ao ano a partir de 2005, mantendo a composição da matriz energética existente em 2005:

Tabela 8: Evolução da Produção e das Emissões de GEE do Setor de Papel e Celulose Segundo as Premissas do MDIC

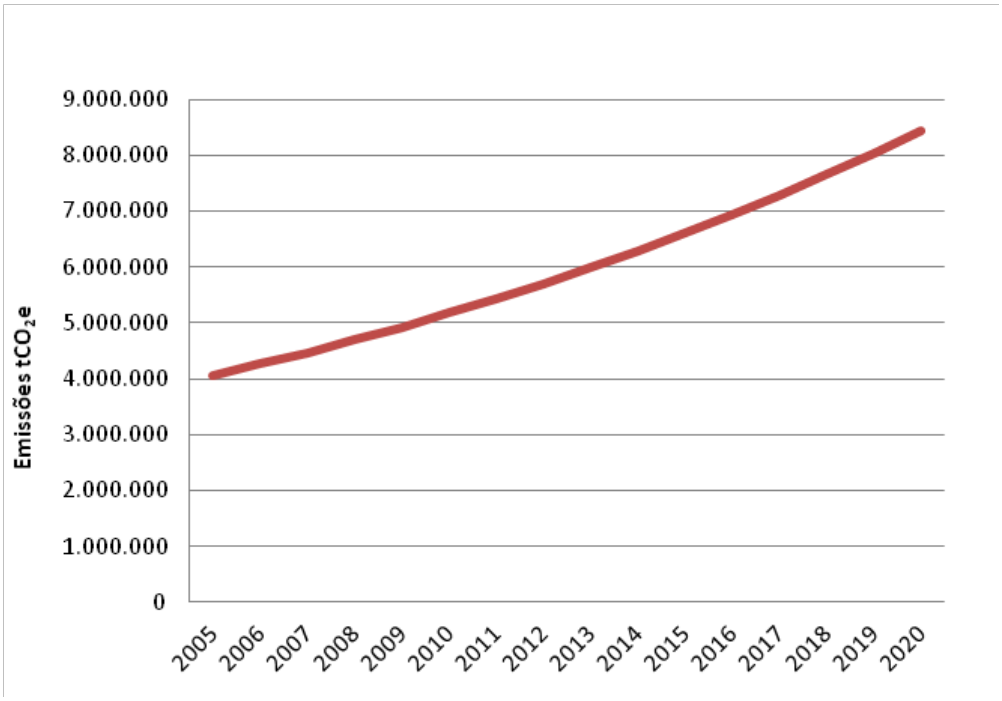
Emissões de Gases de Efeito Estufa do Setor de Papel e Celulose (tCO2e)																
Fator de incremento		5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%	5.00%
Fonte	Emissões (tCO2e)						Projeção das Emissões (tCO2e)									
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gás Natural	1,220,413	1,281,434	1,345,505	1,412,781	1,483,420	1,557,591	1,635,470	1,717,244	1,803,106	1,893,261	1,987,924	2,087,320	2,191,686	2,301,271	2,416,334	2,537,151
Óleo Diesel	186,817	196,158	205,966	216,265	227,078	238,432	250,353	262,871	276,014	289,815	304,306	319,521	335,497	352,272	369,886	388,380
Óleo Combustível	2,055,544	2,158,321	2,266,238	2,379,549	2,498,527	2,623,453	2,754,626	2,892,357	3,036,975	3,188,824	3,348,265	3,515,678	3,691,462	3,876,035	4,069,837	4,273,329
GLP	148,288	155,703	163,488	171,662	180,246	189,258	198,721	208,657	219,090	230,044	241,546	253,624	266,305	279,620	293,601	308,281
Eletricidade	332,141	348,748	366,185	384,495	403,719	423,905	445,101	467,356	490,723	515,260	541,023	568,074	596,477	626,301	657,616	690,497
Licor Negro	21,829	22,920	24,066	25,270	26,533	27,860	29,253	30,716	32,251	33,864	35,557	37,335	39,202	41,162	43,220	45,381
Lenha	91,764	96,352	101,170	106,228	111,540	117,117	122,972	129,121	135,577	142,356	149,474	156,948	164,795	173,035	181,686	190,771
TOTAL	**4,056,797**	**4,259,637**	**4,472,619**	**4,696,258**	**4,931,062**	**5,177,615**	**5,436,496**	**5,708,321**	**5,993,737**	**6,293,424**	**6,608,095**	**6,938,499**	**7,285,424**	**7,649,696**	**8,032,180**	**8,433,789**
Produção (10^3 t)	18,960	19,908	20,903	21,949	23,046	24,198	25,408	26,679	28,013	29,413	30,884	32,428	34,049	35,752	37,540	39,416
Fator de emissão (tCO2e/t)	**0,214**	**0,214**	**0,214**	**0,214**	**0,214**	**0,214**	**0,214**	**0,214**	**0,214**	**0,214**	**0,214**	**0,214**	**0,214**	**0,214**	**0,214**	**0,214**

Figura 16: Estimativa da Evolução da Produção do Setor de Papel e Celulose



A partir dessas premissas teríamos, em 2020, o setor emitindo 8.434x10² tCO2e, considerando que o compromisso assumido estabelece que devem ser evitadas as emissões de 422x10 tCO2e, de forma que as emissões de GEE do setor de papel e celulose se mantenham da ordem de 8.012x10² tCO2e em 2020.

Figura 17: Estimativa das Emissões de GEE do Setor de Papel e Celulose



5.3.2 Cenário de Continuidade

O Cenário de Continuidade considera o incremento na produção do setor que efetivamente ocorreu até o ano de 2011, bem como as alterações da matriz energética que ocorreram de 2005 até 2011. Para o período de 2012 a 2020 foi aplicado o incremento anual na produção fornecido pela Bracelpa referente às expectativas do setor, caso determinadas políticas e medidas de estímulo sejam adotadas[5]:

5 Tais políticas e medidas de estímulo estão apresentadas em (Bracelpa, 2012b), bem como o cenário de continuidade aqui apresentado.

Tabela 9: Evolução das Produção e das Emissões de GEE do Setor de Papel e Celulose Segundo as Premissas da BRACELPA

Emissões de Gases de Efeito Estufa do Setor de Papel e Celulose																		
								(tCO2)	Fator de incremento estimado para produção									
								-0,11%	3,12%	4,54%	4,54%	4,54%	4,54%	4,54%	4,54%	4,54%	4,54%	4,54%
Fonte	Emissões (tCO2e)								Projeção das Emissões (tCO2e)									
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gás Natural	1.220.413	1.314.794	1.403.775	1.190.882	1.432.024	1.589.553	1.567.788		1.637.327	1.711.681	1.789.371	1.870.608	1.955.534	2.044.315	2.137.127	2.234.153	2.335.583
Óleo Diesel	186.817	136.990	202.435	211.731	211.731	3.124	3.120		3.217	3.363	3.516	3.676	3.843	4.017	4.200	4.390	4.590
Óleo Combustível	2.055.544	1.402.830	1.529.482	1.620.378	1.620.378	1.513.195	1.511.515		1.559.674	1.629.438	1.703.415	1.780.750	1.861.596	1.946.112	2.034.466	2.126.830	2.223.388
GLP	148.288	66.208	78.769	79.769	82.080	82.090	81.989		84.547	88.386	92.398	96.593	100.979	105.563	110.356	115.366	120.603
Eletricidade	332.141	331.523	257.722	446.579	210.640	486.885	488.065		501.230	523.986	547.775	572.643	598.641	625.820	654.232	683.934	714.985
Licor Negro	21.829	23.501	25.408	26.636	28.276	30.771	30.737		31.896	33.136	34.639	36.212	37.856	39.574	41.371	43.249	45.213
Lenha	91.764	98.029	101.473	107.580	113.452	118.463	118.332		122.024	127.564	133.355	139.409	145.738	152.355	159.272	166.503	174.062
TOTAL	**4.056.797**	**3.375.885**	**3.597.064**	**3.686.555**	**3.698.580**	**3.823.791**	**3.819.545**		**3.930.715**	**4.117.533**	**4.304.468**	**4.499.891**	**4.704.186**	**4.917.756**	**5.141.023**	**5.374.425**	**5.618.424**
Produção (10³ t)	18.960	20.013	21.091	22.004	23.053	24.318	24.291		25.049	26.186	27.375	28.618	29.917	31.275	32.696	34.180	35.731
Fator de emissão (tCO2e/t)	**0.214**	**0.169**	**0.171**	**0.168**	**0.160**	**0.157**	**0.157**		**0.157**	**0.157**	**0.157**	**0.157**	**0.157**	**0.157**	**0.157**	**0.157**	**0.157**

Aplicadas as premissas definidas, obtemos, para 2020 emissões da ordem de 5.618x10 tCO2e.

O valor obtido demonstra que, por conta das alterações da matriz energética do setor a partir de 2005, as emissões projetadas para 2020 seria cerca de 30% inferiores à meta estabelecida para 2020 pelo compromisso estipulado pelo MDIC.

5.3.3 Cenário de Baixo Carbono

Para o cenário de baixo carbono considerou-se a substituição do uso de óleo combustível em caldeiras para o gás natural, que é um combustível com um fator de emissão de GEE menor do que aquele. Ainda que se entenda que a decisão de adotar um percentual maior de uso do gás natural na matriz energética do setor não seja algo exclusivamente dentro do poder de decisão das empresas, optou-se por adotar essa premissa como forma de exercício por ela ser viável do ponto de vista técnico. Além disso, foram mantidos os consumos de combustíveis de óleo diesel, utilizado prioritariamente para transporte, e de GLP.

Considerou-se também que a intensidade de uso de combustível por unidade de produto se mantém, bem como não se considerou nenhuma melhoria em eficiência energética. Apesar de a pesquisa apontar que ainda existe espaço para melhorias de eficiência energética, adotou-se essa premissa por conta da dificuldade de se encontrarem dados confiáveis que apontassem os ganhos precisos de intensidade carbônica por unidade de produto com a adoção de tais tecnologias. Portanto, o que se vê é que um cenário de baixo carbono poderia ser potencialmente menos intensivo em carbono do que o apresentado nessa nota técnica.

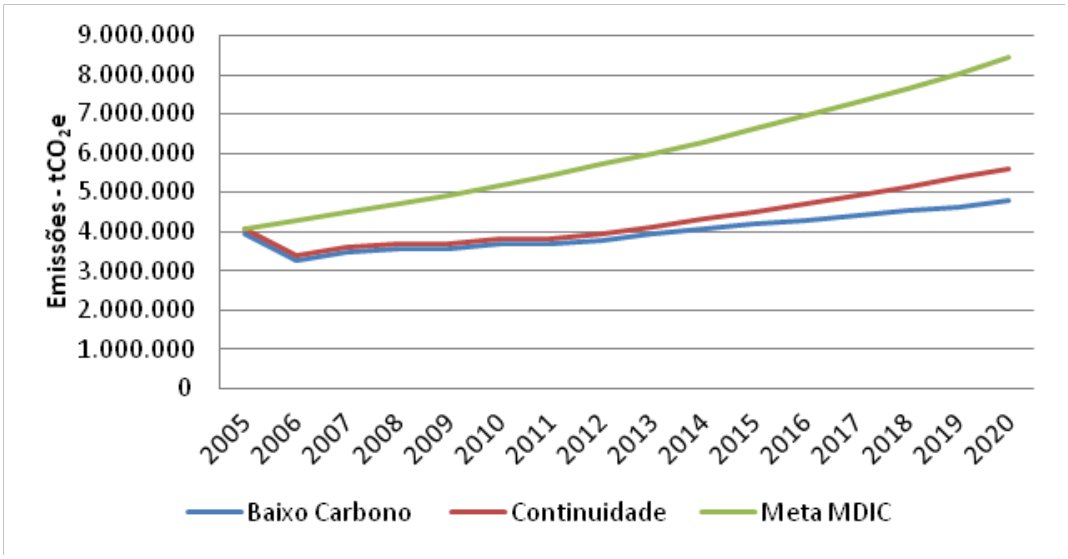
A simulação considerou a substituição do óleo combustível por gás natural a partir de 2014 a uma taxa de substituição de 15% ao ano, mantendo-se 1% disponível em 2020 para ser utilizado na partida dos sistemas.

Tabela 10: Evolução da Produção e das Emissões de GEE do Setor de Papel e Celulose Segundo as Premissas de Baixo Carbono

Emissões de Gases de Efeito Estufa do Setor de Papel e Celulose																				
Fonte	Emissões tCO2e						Fator de Aumento estimado para produção													
													Produção das Emissões tCO2e							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gás Natural	1.220.413	1.319.784	1.403.775	1.196.882	1.432.024	1.589.552	1.587.788	1.637.379	1.711.716	1.789.429	1.870.670	1.955.599	2.044.384	2.137.290	2.234.231	2.335.665
Óleo Diesel	186.617	136.990	202.435	211.731	211.731	3.124	3.120	3.218	3.364	3.516	3.676	3.843	4.017	4.200	4.390	4.590
Óleo Combustível	2.055.544	1.402.833	1.529.462	1.620.378	1.620.378	1.513.195	1.511.515	1.558.724	1.629.490	1.447.902	1.246.588	1.023.612	778.471	508.634	212.690	22.235
Gás Natural subst. Óleo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	105.028	286.857	608.630	845.562	1.134.509	1.386.124	1.593.960
GLP	148.288	96.208	76.799	76.799	82.080	82.080	81.989	84.550	88.389	92.401	96.598	100.982	105.567	110.359	115.370	120.608
Eletricidade	332.141	331.523	257.722	446.579	210.644	486.605	486.065	501.246	524.002	547.782	572.662	598.661	625.841	654.254	683.958	715.010
Licor Negro	21.829	23.501	25.408	28.636	28.276	30.771	30.737	31.696	33.135	34.639	36.212	37.856	39.574	41.371	43.249	45.213
Lenha	91.784	96.028	101.473	107.580	113.492	118.483	118.332	122.024	127.564	133.355	139.409	145.738	152.356	159.273	166.503	174.062
TOTAL	**3.943.204**	**3.234.337**	**3.475.163**	**3.552.339**	**3.559.363**	**3.674.308**	**3.676.477**	**3.785.118**	**3.858.961**	**4.066.117**	**4.172.027**	**4.299.628**	**4.403.842**	**4.519.586**	**4.636.762**	**4.792.867**
Produção (10³ t)	18.960	20.013	21.091	22.004	23.053	24.218	24.291	25.050	26.187	27.376	28.619	29.918	31.276	32.698	34.181	35.733
Fator de emissão (tCO2e/t)	**0,208**	**0,163**	**0,165**	**0,161**	**0,154**	**0,151**	**0,151**	**0,151**	**0,151**	**0,149**	**0,146**	**0,143**	**0,141**	**0,138**	**0,130**	**0,134**

Aplicadas as premissas definidas, obtemos para as emissões de 2020 um valor de 4.792x10 tCO2e, que representa uma redução de emissões de cerca de 15% em relação ao Cenário de Continuidade e de cerca de 40% menor do que a meta assumida pelo compromisso, estimada pelo cenário MDIC.

Figura 18: Comparativo entre as Emissões Projetadas Pelo MDIC, pelo Cenário de Continuidade e de Baixo Carbono

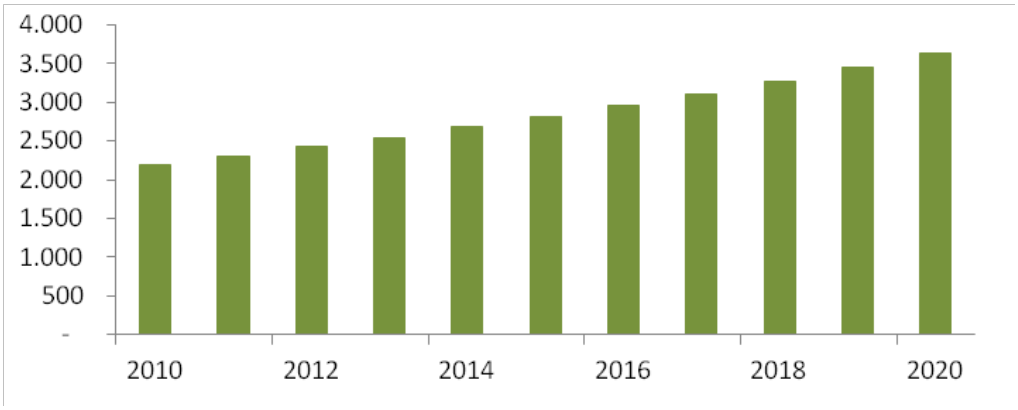


5.4 Projeção de Emissões Líquidas de GEE do Componente Florestal do Setor de Papel e Celulose

Ainda que o componente florestal não tenha sido o principal objeto de estudo desse trabalho, incluíram-se as respectivas projeções de remoções e emissões de GEE associadas às florestas plantadas necessárias para viabilizar o crescimento da produção estimada, sendo essa a mesma que a adotada no Cenário de Continuidade apresentado acima. Tal projeção foi fornecida pela Bracelpa e se refere a um cenário incremental, com a suposição de que determinadas políticas sejam viabilizadas e barreiras transpostas (Bracelpa, 2012b).

Para a realização desse exercício foram utilizados dados de remoção de florestas plantadas e emissões da indústria de papel e celulose como um todo. Para estimar as emissões de GEE relativas apenas ao componente florestal, adotou-se a premissa preliminar citada na seção "Componente Florestal da Indústria de Papel e Celulose", qual seja de 35% das emissões totais. Cabe ressaltar, como já apontado nessa seção, que o valor de 35% é uma estimativa preliminar em relação ao índice de intensidade carbônica da Bracelpa e, portanto, não é um valor definitivo obtido junto a todas as empresas do setor.

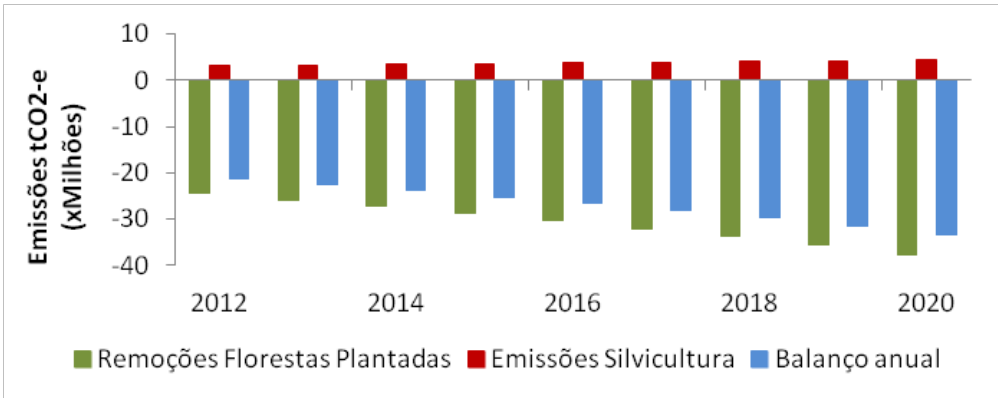
Figura 19: Evolução do Estoque de Florestas Plantadas no Cenário de Continuidade (Mil Hectares)



FONTE: BRACELPA, 2012B

A partir dessa estimativa, em 2020 o setor precisaria de 3.626.378 hectares de florestas plantadas para viabilizar a produção projetada pela Bracelpa. Se esse cenário se verificar, no ano de 2020, as florestas plantadas do setor de papel e celulose removerão 37.632.861 toneladas e emitirão 4.377.232 toneladas de carbono equivalente.

Figura 20: Estimativa da evolução das emissões líquidas do componente florestal no cenário de continuidade



Logo, vê-se que o componente florestal de fato é relevante para essa indústria tanto em termos de emissões de GEE como, e esse principalmente, de remoções de GEE da atmosfera.

6. Recomendações de Políticas Públicas

Como foi apresentado ao longo do trabalho, o setor de papel e celulose é intensivo no uso de energia. Nesse sentido, percebe-se que a maior parte das emissões de GEE oriundas do componente industrial das plantas desse setor está diretamente relacionada a sua necessidade de geração de energia.

Cabe apontar, tal como exposto nessa nota técnica, que o setor realizou uma alteração profunda em sua matriz energética ao longo dos últimos 30 anos, ao deixar de utilizar predominantemente combustíveis fósseis, em particular o óleo combustível, substituindo-os por outros combustíveis de menor intensidade carbônica, como o licor negro e o gás natural.

Tal substituição de combustíveis, associada ao fator de emissão de GEE relativamente baixo do grid brasileiro, faz com que o setor de papel e celulose brasileiro apresente um índice de intensidade carbônica abaixo da média mundial (ICFPA, 2011). Dessa forma, a manutenção do percentual renovável da matriz de geração de energia do setor já seria um cenário desejável do ponto de vista do baixo carbono, dado que atualmente, cerca de 85% da geração de energia desse setor advém de fontes renováveis, com destaque para o uso da lixívia e da lenha.

Ainda assim, tal como apontaram os cenários de baixo carbono realizados nesse estudo, existe espaço para redução das emissões de GEE do setor de papel e celulose brasileiro. Como já elucidado, a plena adoção das medidas apresentadas nos cenários de baixo carbono aqui exercitados está sujeita a transposição de diversas barreiras, algumas delas, inclusive, estando fora do poder de decisão das empresas. Contudo, todas as medidas apresentadas como premissas desse exercício são viáveis do ponto de vista técnico e, portanto, sob essa ótica, passíveis de serem implementadas na indústria uma vez superadas suas respectivas barreiras.

Embora que se tenha realizado um estudo de viabilidade técnica, é importante ressaltar que não foi objetivo desse trabalho aprofundar o entendimento acerca da viabilidade econômica das opções de baixo carbono apresentadas. Para se implementar tal análise e para que de fato as empresas do setor tomem decisões nesse sentido, é de suma importância que se realize um estudo das curvas MAC do setor e, assim, consiga-se acessar o custo marginal de redução de cada uma das opções de baixo carbono citadas concomitantemente à seus respectivos potenciais de redução de emissões de GEE.

Logo, como conclusão desse estudo, considera-se que a evolução da redução da intensidade carbônica do setor estaria associada a:

- Manter e dar continuidade a tendência de substituição de combustíveis intensivos em emissões de GEE para outros de menor intensidade carbônica, particularmente biomassa, licor negro e gás natural;

- Adotar medidas de eficiência energética, a partir de maior eficiência elétrica e da adoção de fornos e caldeiras mais modernos e eficientes nas plantas em operação;

- Aumentar a participação de cogeração de eletricidade a partir de combustíveis renováveis na matriz energética do setor;

- Viabilizar o uso de tecnologias e processos industriais de baixo carbono em novas plantas;

- Fomentar ações de pesquisa e desenvolvimento associados a novas tecnologias de baixo carbono e rotas alternativas;

- Realizar um estudo de Curvas de Custo Marginal de Abatimento de Emissões (MACC) para o setor de papel e celulose.

Destaca-se a importância de que se viabilize um sistema de contabilização e inventário bottom-up de emissões de GEE do setor. A criação de tal base de dados possibilitaria, inclusive, a realização de políticas públicas com o fim de dar incentivos positivos, como benefícios fiscais, às empresas que se destacam em termos de suas emissões de GEE.

Além disso, como apresentado, esse setor tem dois componentes fundamentais, um industrial e um florestal igualmente importantes para suas atividades. Ainda que o componente florestal seja parte indissociável do processo produtivo desse setor, por conta do escopo e objetivo desse trabalho, apenas o componente industrial, que engloba as emissões de GEE associadas a processos industriais e energia do mesmo, é que foi objeto principal de estudo.

Não obstante o componente florestal não tenha sido objeto principal, a importância desse componente e a falta de aprofundamento com relação às oportunidades e barreiras associadas, levanta-se a importância de que se realizem estudos de baixo carbono relativos a florestas plantadas. Mais do que isso, aponta-se uma necessidade profunda de integração entre o plano indústria do setor de papel e celulose e outros planos setoriais, em particular o que trata das florestas de produção.

7. Bibliografia

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. [Bracelpa]. Dados do Setor. 2012a

_____. Documento Base para Elaboração de um Plano Setorial de Mitigação das Mudanças Climáticas Aplicável ao Setor de Celulose e Papel Brasileiro. 2012b

_____. Relatório de Sustentabilidade. 2010a

_____. Relatório Estatístico 2009-2010. 2010b

_____Relatório Florestal 2010-2011. 2011a

_____. Relatório Estatístico 2010-2011. 2011b

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. [ABTCP]. A inserção do Setor de Papel e Celulose no Contexto da Implementação dos Esforços Globais para Estabilização do Clima. 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. [ABRAF]. Anuário Estatístico da ABRAF 2011 - ANO BASE 2010. 2011

ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA DE SÃO PAULO [COGEN-SP]. 2009

AZEVEDO, J.B. [AZEVEDO]. Benefícios resultantes da cogeração. In: Seminário "A cogeração no segmento têxtil - COGENRIO". 2006.

BOERNER, J.; ORLOFF, D. [BOERNER et al.]. Effects of Basis Weight and Freeness on Sheet Permeability and Critical Impulse-Drying Temperature. In Tappi Journal. 77 (2): 163-168. 1994.

BRASIL. [BRASIL]. Plano Nacional de Energia 2030 - Geração Termelétrica / Biomassa. Empresa de Pesquisa Energética / Ministério de Minas e Energia - MME, Rio de Janeiro, 250 p. 2007

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA [CNI]. Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria - Relatório Setorial: Papel e Celulose. 2010.

DE BEER, J. [DE BEER]. Potential for Industrial Energy Efficiency Improvement in the Long Term. Ph.D. Thesis. Utrecht, The Netherlands: Utrecht University. 1998.

DE BEER, J., BLOCK, K., WORRELL, E. [DE BEER et al.]. Long-term energy-efficiency improvements in the paper and board industry. In Energy. 23 (1): 21-42. 1998b

DE SOUZA, Z.J., AZEVEDO, P.F. [DE SOUZA et al.]. Geração de Energia Elétrica Excedente no Setor Sucroalcooleiro: Um Estudo a Partir das Usinas Paulistas". Revista Economia e Sociologia Rural, vol. 44. 2006.

DEPARTMENT OF ENERGY U.S.. [DOE]. Improving Compressed Air System Performance: A Source Book forIndustry. April. Washington, DC. 1998.

EUROPEAN COMISSON. [EC]. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) – Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. 2011.

ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. [LBNL]. Emerging Energy Efficient Industrial Technologies. N. Martin, E. Worrell, M. Ruth, L. Price (LBNL) - R.N. Elliott, A.M. Shipley, J. Thorne (ACEEE) Environmental Energy (Technologies Division) October. 2000

FRANCELLINO, R. [FRANCELLINO]. Quanto Mais Pressão Melhor - Caldeiras de até 100 kg/cm2 Fazem Energia Deixar de ser Subproduto da Atividade Sucroalcooleira. Especial Co-geração e Geração Distribuída. Revista Brasil Energia. Disponível em: http://cogensp.org.br. 2008.

FRACARO, G. [FRACARO]. Eficiência Energética e Intensidade de Emissões no Setor de Papel e Celulose Brasileiro. UNIOESTE, Cascavel, Paraná. 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS [FAO]. Pulp and Paper Capacities 2010-2015. 2011a

_____. FAOStat Forestry. Base de Dados em Produção, importacão e exportação de produtos florestais. Disponível em: http://faostat.fao.org/site/626/default.aspx#ancor. 2011b

GHOSH, D., SAGAR, A.D., KISHORE,V.N. [GHOSH et al.]. Scaling up Gasifier Use: an Application-specific Approach. Energy Policy, vol. 34. Issue 13, pp. 1566-82. 2006.

HENRIQUES Jr. M. [HENRIQUES JR.] Potencial de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa Pelo Uso de Energia no Setor Industrial Brasileiro. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/mauricio_junior.pdf

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA. [INT]. Panorama do Setor de Cerâmica no Brasil. Relatório Final de Projeto Petrobras. 2005

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC]. Third Assessment Report. Geneva, Switzerland, 2001.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY [IEA]. Tracking industrial energy efficiency and CO2 emissions. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), 2007.

_____. Energy Technology Transitions for Industry. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), 2009.

IGARI, Alexandre; PELA, Silvia; MANTOVANI, Marco; FERREIRA, Zuleica. [IGARI et al.]. Mudanças Climáticas e o Setor de Papel e Celulose no Brasil. 2009.

THE INTERNATIONAL COUNCIL OF FOREST AND PAPER ASSOCIATIONS. [ICFPA]. Sustainability Progress Report. 2011.

_____. [ICFPA]. Calculation Tools for Estimating Greenhouse Gas Emissions from Pulp and Paper Mills. 2005.

JUVENAL, Thaís Linhares; MATTOS, René Luiz Grion, [BNDES]. O Setor de Papel e Celulose no Brasil. 2002

JUDD, S.; JEFFERSON, B. (EDS.). The pulp and paper industry. Membranes for Industrial Wastewater Recovery and Re-use. Amsterdam: Elsevier Science, 2003. p. 102-131.

LARSON, E., RAYMOND, D. [LARSON et al.]. Commercializing Black Liquor and Biomass Gasifier/Gas Turbine Technology. Tappi Journal. 80 (12): 50-58. 1997

LARSON, E., WILLIAMS, R., LEAL, M. [LARSON et. al.] A Review of Biomass Integrated-Gasifier / Gas Turbine Combined Cycle Technology and Its Application in Sugarcane Industries, With An Analysis For Cuba, Energy for Sustainable Development 2001

LEHTINEN, J. [LEHTINEN]. Condebelt Drying of Paper and Paperboard for Optimizing Quality and Production for Many Grades. In the journal Drying Technology. 13 (8-9): 2049-2068. 1995

LUITEN, E. [LUITEN]. 2000. Personal communication to Nathan Martin regarding Impulse Drying. (Utrecht University)

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA [MCT]. Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa - Relatórios de referência: Emissões de Gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais: Papel e Celulose. 2010.

_____. Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima. Disponível em: http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/4016.html. 2002.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. [MDIC]. Balança Comercial Brasileira: Dados Consolidados. Brasília, 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. [MME]. Balanço Energético Nacional 2011. Brasília, 2011a.

_____. Balanço Energético Nacional - Séries Completas. Brasília, 2011b.

MATTOS, René Luiz Grion; VALENÇA, Antonio Carlos de Vasconcelos. [BNDES]. A Década de 90 – Mercado de Celulose. 2001

OFFICE OF INDUSTRIAL TECHNOLOGIES OF THE U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. [OIT]. Characterization and Conditioning of Tars Produced During Black Liquor Gasification. Forest Products Project Fact Sheet. September. Washington, DC: U.S. Department of Energy, Office of Industrial Technologies. Disponível em: http://www.oit.doe.gov/forest/condtars.htm. 1998.

PFROMM, P. [PFROMM] Personal communication Nathan Martin regarding Direct Electrolytic Causticizing. August. 2000

PIVKO, I. [PIVKO]. Technology in Search of Markets. Nonwovens Industry Story Archive. Article online at: http://www.nonwovens-industry.com/jan991.htm. 1999

RONKAINEN, P. [RONKAINEN]. Personal communication to Nathan Martin. Valmet Corporation. 2000.

SCHWOB, M., HENRIQUES JR., M., SZKLO, A. [SCHWOB et al.]. Technical Potential for Developing Natural Gas Use in Brazilian Red Ceramic Industry. 2009.

TOLMASQUIM, M.T., SOARES, J.B., ROGGIA, R., DE SOUZA, R.. [TOLMASQUIM et al.]. Potencial de Cogeração a Gás Natural: Setores Industriais e Terciário do Rio de Janeiro. 2003

THOLLANDER, P.; OTTOSSON, M. [THOLLANDER et al.]. An energy efficient Swedish pulp and paper industry – exploring barriers to and driving forces for cost-effective energy efficiency investments. Energy Efficiency, v. 1, n. 1, p. 21-34, 10 jan 2008

VAKKILAINEN, E.; KIVISTÖ, A.. [VAKKILAINEN et. al]. Energy consumption trends and energy consumption in modern mills in forest industry. Production. Lappeenranta, 2010.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. [WBCSD]. Following up on "Towards a Sustainable Paper Cycle". 2004

WALTER, A. [WALTER]. Metodologias de Avaliação e Instrumentos para a Viabilização do Potencial de Produção de Energia Elétrica com Resíduos da Cana de Açúcar. 2003

WARTENA, R. [WARTENA]. Personal communication with Nathan Martin. Institute of Paper Science and Technology. 2000.

WORRELL, E., BODE, J-W. and DE BEER, J. [WORRELL et al.]. Analyzing Research and technology Development Strategies: The 'ATLAS' Project, Energy Efficient Technologies in Industry, Prepared for Directorate General XVII of the European Commission, Dept. of Science, Technology & Society, Utrecht University (Report 97001). 1997.

ZAEYEN, A. Estrutura e desempenho do setor de celulose e papel no Brasil. Tese de mestrado. Rio de Janeiro, IEI/UFRJ, 1986.

8. anexos

8.1 Dados das Projeções

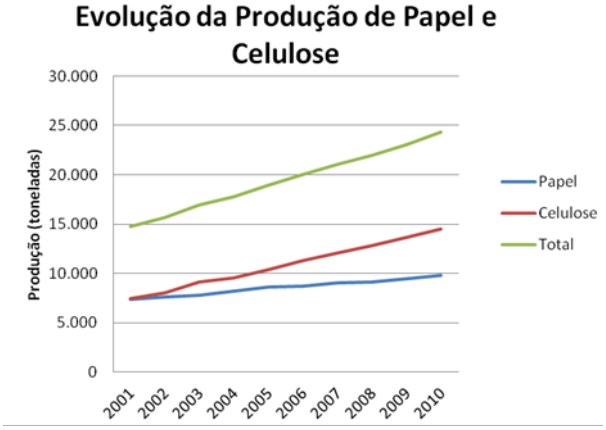
8.1.1 Evolução da Produção da Indústria de Papel e Celulose

Tabela 11: Evolução da produção da indústria de papel e celulose

Produção Industrial										
Produto	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Papel	7.354	7.661	7.811	8.221	8.597	8.738	9.008	9.154	9.428	9.844
Celulose	7.436	8.052	9.149	9.580	10.363	11.275	12.083	12.850	13.625	14.474
Total	14.790	15.713	16.960	17.801	18.960	20.013	21.091	22.004	23.053	24.318

Fonte: FAO, 2011b

Figura 21: Evolução da produção da indústria de papel e celulose



8.1.2 Matriz Energética do Brasil no Período

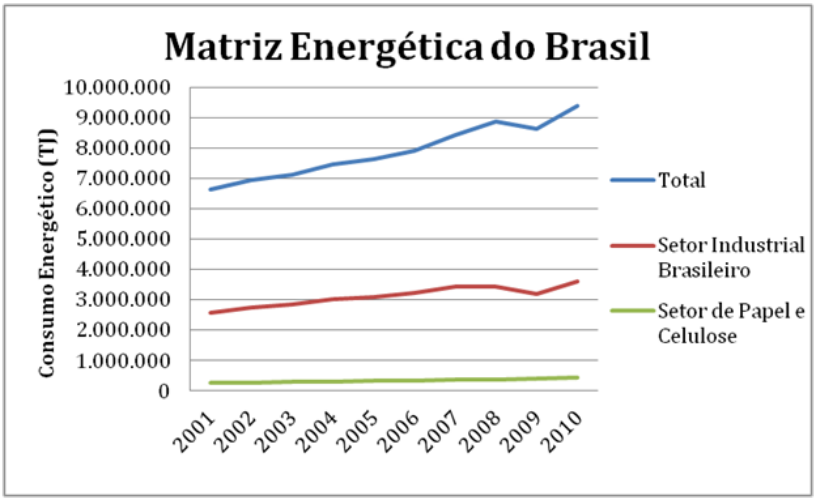
- *Consumo energético total*
- *Consumo energético do Setor Industrial Brasileiro*
- *Consumo energético do Setor de Papel e Celulose*

Tabela 12: Evolução da matriz energética do Brasil

MATRIZ ENERGÉTICA DO BRASIL (TJ)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Consumo Energético Final	6,642,382	6,931,285	7,102,073	7,462,113	7,649,105	7,895,593	8,430,022	8,864,591	8,634,599	9,389,431
Consumo Industrial Total	2,575,884	2,737,168	2,862,526	3,023,726	3,077,278	3,213,816	3,427,311	3,447,031	3,199,412	3,587,338
% do total	38.8%	39.5%	40.3%	40.5%	40.2%	40.7%	40.7%	38.9%	37.1%	38.2%
Consumo Papel e Celulose	257,961	275,756	298,114	305,609	321,729	335,630	358,156	375,030	397,137	421,882
% do total	3.9%	4.0%	4.2%	4.1%	4.2%	4.3%	4.2%	4.2%	4.6%	4.5%
% do setor industrial	10.0%	10.1%	10.4%	10.1%	10.5%	10.4%	10.5%	10.9%	12.4%	11.8%

Fonte: MME, 2011

Figura 22: Evolução da matriz energética do Brasil



A participação da Indústria de Papel e Celulose no consumo energético do Brasil cresceu 15,7% subindo de 3,9% a 4,5%, e sua participação no setor Industrial cresceu em 17,4 % indo de 10,0% para 11,8 %.

8.1.3 Matriz Energética do Setor Industrial Brasileiro Por Fonte

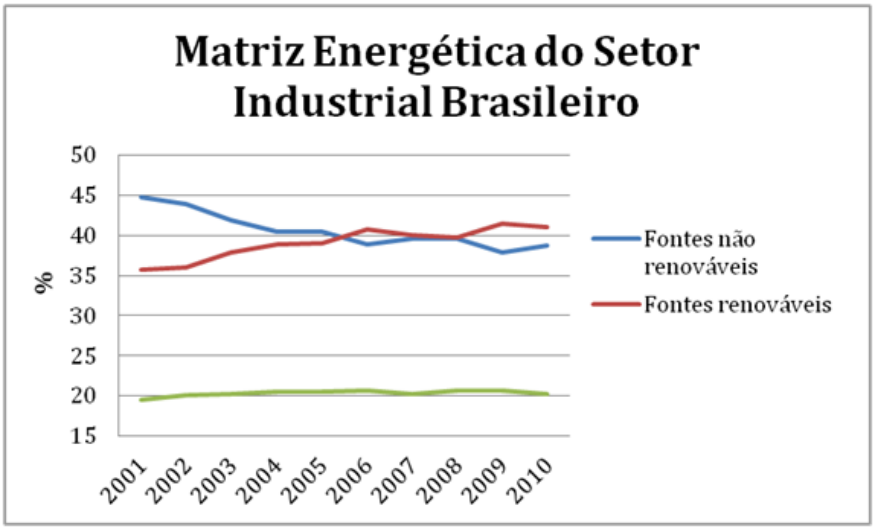
- *Energia de fontes não renováveis*
- *Energia de fontes renováveis*
- *Energia elétrica*

Tabela 13: Matriz energética do setor industrial brasileiro

Setor Industrial	(%)									
Fonte	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Gas Natural	7.4	8.5	8.6	9.2	9.8	9.9	9.8	10.3	9.4	10.8
Carvão mineral	4.5	4.6	4.8	5	4.8	4.6	4.6	4.7	3.9	4.2
Óleo Combustível	9.8	9	7.4	6.1	6	5.3	5.1	4.8	4.9	3.8
Gás de Coqueria	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4
Coque de carvão mineral	10.3	10.2	9.8	9.4	8.7	8	8.2	8.1	6.9	7.3
Outras secundarias de petróleo	11.4	10.3	9.9	9.4	9.8	9.8	10.6	10.4	11.5	11.3
Total não renovável	44.8	43.9	41.9	40.5	40.5	38.9	39.6	39.6	37.9	38.8
Lenha	8.3	7.6	7.6	7.6	7.7	7.6	7.4	7.9	8.6	8.4
Bagaço de cana	16	17	17.5	17.7	17.8	19.9	19.7	18.7	21.3	20.8
Carvão vegetal	6.4	6.3	7.1	8	7.7	7.2	6.9	6.8	4.3	4.7
Outras renováveis	5	5.1	5.7	5.6	5.8	6	6.1	6.4	7.3	7.1
Total renovável	35.7	36	37.9	38.9	39	40.7	40.1	39.8	41.5	41
Eletricidade	19.5	20.1	20.2	20.5	20.5	20.6	20.2	20.6	20.6	20.2

Fonte: MME, 2011

Figura 23: Matriz energética do setor industrial brasileiro



A matriz energética por fonte do setor industrial brasileiro apresentou uma redução de 13,4% na participação dos combustíveis de fontes não renováveis, e um acréscimo de 14,8% e 3,6% na participação dos combustíveis de fontes renováveis e da eletricidade, respectivamente.

8.1.4 Matriz Energética do Setor de Papel e Celulose por Fonte

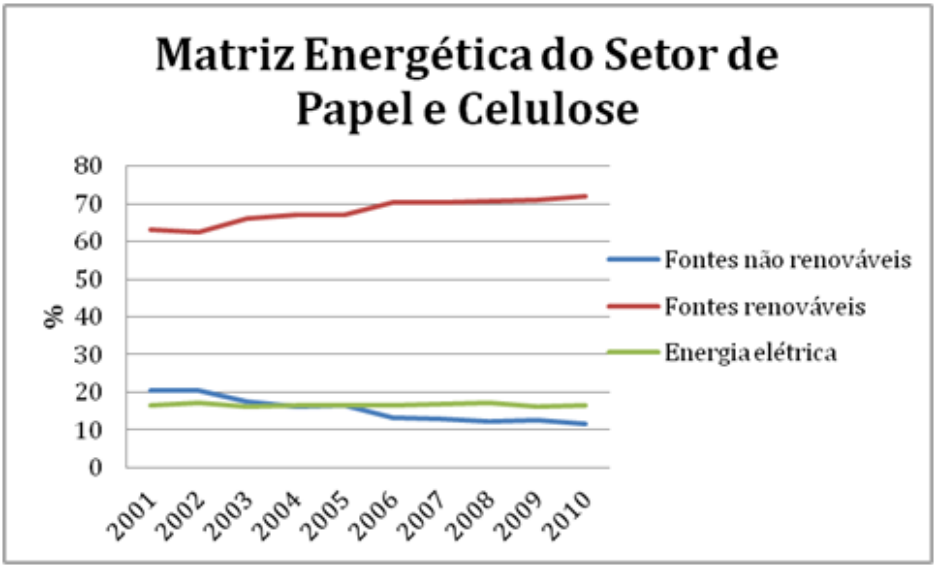
- *Energia de fontes não renováveis*
- *Energia de fontes renováveis*
- *Energia elétrica*

Tabela 14: Matriz energética do setor de papel e celulose brasileiro

Setor Papel e Celulose	(%)									
Fonte	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Gás Natural	6.4	6	6	6.3	6.8	7	7	5.7	6.4	6.7
Óleo Combustível	13.2	13.4	10.6	8.7	8.2	5.4	4.9	5.6	5.3	4.6
Outras não renováveis	0.9	1	1	1.2	1.5	0.9	1.1	1.1	1	0.3
Total não renovável	20.5	20.4	17.6	16.2	16.5	13.3	13	12.4	12.7	11.6
Carvão Vapor	1.4	1.2	1.2	1.2	0.7	1	0.9	0.9	0.9	1.1
Lenha	16.7	14.8	14.6	15.6	15.3	15.6	15.2	15.3	15.3	15
Lixívia	37	38.7	41.8	43.1	43.5	44.9	45.5	45.5	45.6	46.8
Outras renováveis	7.9	7.8	8.5	7.3	7.5	8.7	8.8	8.9	9.2	9
Total renovável	63	62.5	66.1	67.2	67	70.2	70.4	70.6	71	71.9
Eletricidade	16.4	17.1	16.3	16.6	16.5	16.6	16.7	17.1	16.3	16.4

Fonte: MME, 2011

Figura 24: Matriz energética do setor de papel e celulose brasileiro



A matriz energética por fonte do setor de papel e celulose apresentou uma redução de 43,4% na participação dos combustíveis de fontes não renováveis, variando de 20,5% para 11,6%, um acréscimo de 14,1% na participação dos combustíveis de fontes renováveis, variando de 63,0% para 71,9%, e a participação da energia elétrica se manteve estável no período.

8.1.5 Composição da Matriz Elétrica do Setor de Papel e Celulose

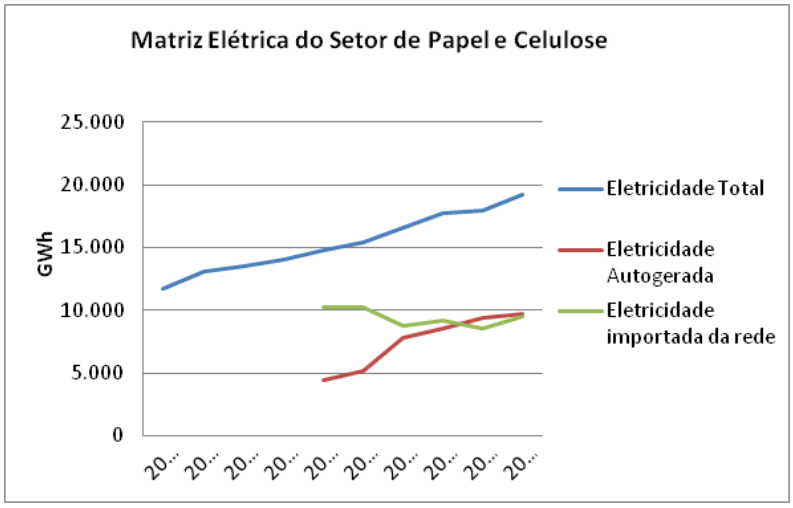
- *Eletricidade Total*
- *Eletricidade Autogerada*
- *Eletricidade Importada da Rede*

Tabela 15: Matriz elétrica do setor de papel e celulose do Brasil

Matriz Elétrica do Setor de Papel e Celulose GWh	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Consumo total	11,777	13,103	13,486	14,091	14,765	15,463	16,579	17,765	17,951	19,253
Auto geração	n/d	n/d	n/d	n/d	4,482	5,199	7,783	8,538	9,388	9,749
Consumo da rede	n/d	n/d	n/d	n/d	10,283	10,264	8,796	9,227	8,563	9,504

Fonte: MME, 2011

Figura 25: Matriz elétrica do setor de papel e celulose do Brasil



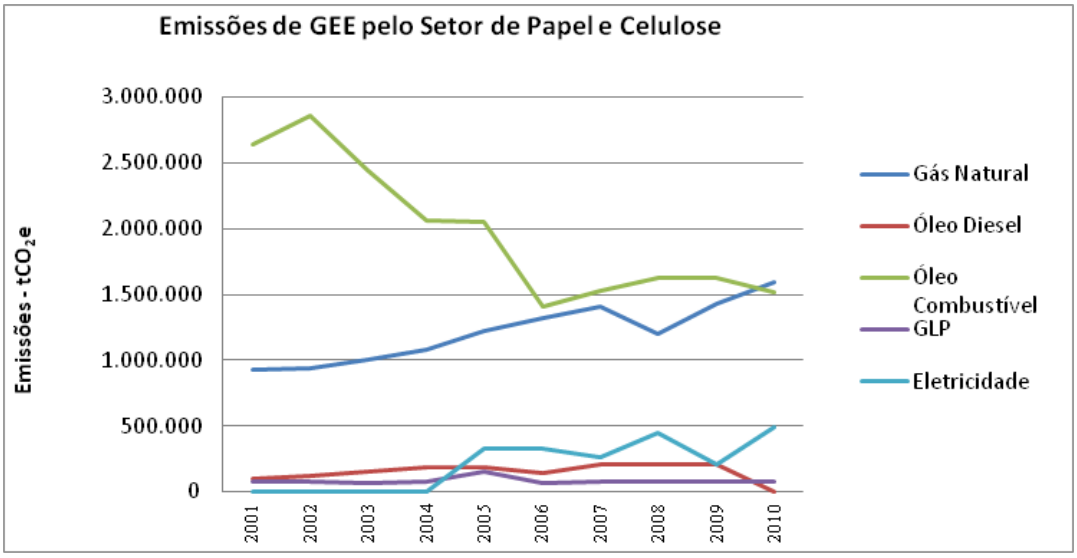
O consumo de eletricidade no período de 2001 a 2010 cresceu em 63 %. De 2007 a 2010 houve um crescimento da autogeração de eletricidade da ordem de 8 %.

8.1.6 Emissões de GEE do Setor de Papel e Celulose no Período por Fonte

Tabela 16: Emissões de GEE do setor de papel e celulose

Emissões de Gases de Efeito Estufa do Setor de Papel e Celulose						tCO_2e
Fonte	Emissões (tCO_2e)					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Gás Natural	1,220,413	1,316,784	1,403,775	1,196,882	1,432,024	1,589,553
Óleo Diesel	186,817	136,990	202,435	211,731	211,731	3,124
Óleo Combustível	2,055,544	1,402,833	1,529,482	1,620,378	1,620,378	1,513,195
GLP	148,288	66,208	76,769	76,769	82,080	82,080
Eletricidade	332,141	331,523	257,722	446,579	210,646	486,605
TOTAL	3,943,204	3,254,337	3,470,183	3,552,339	3,556,860	3,674,556

Figura 26: Emissões de GEE do Setor de Papel e Celulose



Ministério do
Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior