

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

FÁBIO MITSUO ENDO

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO
DE FABRICAÇÃO DE MDF EM SUBSTITUIÇÃO AO COMBUSTÍVEL
FÓSSIL UTILIZADO NA GERAÇÃO DE ENERGIA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

PONTA GROSSA

2014

FÁBIO MITSUO ENDO

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO
DE FABRICAÇÃO DE MDF EM SUBSTITUIÇÃO AO COMBUSTÍVEL
FÓSSIL UTILIZADO NA GERAÇÃO DE ENERGIA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista, do curso de Especialização em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luís Maurício Martins de Resende

PONTA GROSSA

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa



Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

TERMO DE APROVAÇÃO

REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO DE
FABRICAÇÃO DE MDF EM SUBSTITUIÇÃO AO COMBUSTÍVEL FÓSSIL
UTILIZADO NA GERAÇÃO DE ENERGIA

por

FABIO MITSUO ENDO

Esta Monografia foi apresentada em 08 de março de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia de Produção. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Luis Mauricio M. de Resende, Dr.
Prof.(a) Orientador(a)

Prof. Guataçara dos Santos Junior, Dr.
Membro titular

Prof. Flavio Trojan, Dr.
Membro titular

Julio Cezar de Almeida Pereira
Responsável pelos Trabalhos
de Conclusão de Curso

Prof. Luis Mauricio M. de Resende, Dr.
Coordenador(a) do Curso
UTFPR - Campus Ponta Grossa

“Triste não é mudar de ideia. Triste é não ter ideia para mudar.”

Francis Bacon

RESUMO

ENDO, Fábio Mitsuo. **Reaproveitamento de resíduos gerados no processo de fabricação de MDF em substituição ao combustível fóssil utilizado na geração de energia.** 2014. 94 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2014.

O presente trabalho tem por objetivo demonstrar a relação da aplicação de conceitos de Produção Mais Limpa e o uso de resíduos do processo de fabricação de painéis de fibra de média densidade (MDF) gerados na etapa de lixamento e corte para a geração de energia. A necessidade energética para realizar a secagem de fibras e geração de vapor é demonstrada e atendida com uma configuração de combustíveis proposta onde consome 100% dos resíduos gerados nesta etapa de fabricação. Através do uso de resíduos de MDF com a complementação de resíduos (serragem) de madeiras, é possível diminuir expressivamente o uso de gás natural, um combustível fóssil e finito que possui um custo elevado em relação ao uso de combustíveis renováveis. O reuso deste material é possível graças a um pré tratamento que o mesmo recebe diminuindo sua granulometria para posteriormente ser consumido no queimador multicompostíveis da planta térmica. Este trabalho também apresenta o panorama atual da produção e consumo de painéis de MDF e do combustível em questão, o gás natural incluindo reservas nacionais e mundiais deste.

Palavras-chave: Painel de Fibras de Média Densidade (MDF). Produção Mais Limpa (P+L). Reuso. Energia. Gás Natural.

ABSTRACT

ENDO, Fábio Mitsuo. **Reuse of waste generated in the manufacturing process of MDF to replace fossil fuel in power generation.** 2014. 94 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2014.

The present work aims to demonstrate the relationship of the application of concepts of Cleaner Production and use of residues from the manufacture of medium density fiberboard (MDF) generated in the grinding and cutting fiberboard step process to the power generation. The energy needed to perform the drying fibers and steam generation is demonstrated and served with a setting where fuel proposal consumes 100 % of the residues generated in the manufacturing stage. Through the use of waste MDF with complementary waste (sawdust) of timber, it is possible to significantly reduce the use of natural gas, a fossil fuel that finite and has a high cost in relation to the use of renewable fuels. The reuse of this material is made possible by a pre-treatment which he receives decreasing its particle size to be consumed later in multifuel burner thermal plant. This work also presents a current overview of the production and consumption of MDF panels and fuel in question, natural gas, including national and world reserves of this.

Palavras-chave: Medium Density Fiberboard (MDF). Cleaner Production (CP). Reuse. Energy. Natural Gas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Painéis de MDF in natura (não revestido).....	15
Figura 2: Evolução da participação de cada tipo de painel no consumo mundial.	20
Figura 3: Evolução da participação de painéis de madeira reconstituída no consumo brasileiro.....	21
Figura 4: - Evolução da produção de painéis de madeira reconstituída no Brasil.	22
Figura 5: Distribuição das fábricas de painéis de madeira reconstituída no Brasil em 2009.	23
Figura 6: Fluxograma do processo de fabricação do painel de MDF.	24
Figura 7: Componentes de uma caldeira.	31
Figura 8: Eolípia, uma espécie de turbina a vapor construída nos primeiros anos da era cristã por Heron.....	32
Figura 9: Caldeira de Haycock, 1720	33
Figura 10: Caldeira de tubos de água, 1803	34
Figura 11: Caldeira de tubos de água inclinados, 1803	34
Figura 12: Caldeira de tubos curvados, Stirling, 1880.....	35
Figura 13: Fornalha (esq.) que recebia lenha para queima e caldeira (dir.) que gerava o vapor na fábrica São Luiz.....	36
Figura 14: Desenho esquemático do funcionamento de uma caldeira aquatubular. .	39
Figura 15: Ilustração dos reservatórios de gás natural associado e não associado..	46
Figura 16: Distribuição da malha de transporte de GN.	52
Figura 17: Rede de transporte de gás natural no Brasil.	53
Figura 18: Percurso em território brasileiro do Gasbol.	54
Figura 19: Evolução das reservas mundiais de GN.	55
Figura 20: Principais gasodutos no Oriente Médio, norte da África , Europa e Eurásia.	57
Figura 21: Principais movimentações mundiais de GN em 2012 (Bilhões de m ³).	58
Figura 22: Evolução das reservas totais e provadas no GN no Brasil em milhões de m ³	59

Figura 23: Evolução da produção brasileira de GN (milhões de m ³).....	61
Figura 24: Abordagens de Produção mais Limpa.	65
Figura 25: Níveis de aplicação da Produção mais Limpa.....	66
Figura 26: Utilização dos resíduos em planta típica Norte Americana	69
Figura 27: Serra circular com triturador acoplado.	72
Figura 28: Cortes e esquadrejamento realizado no painel máster de MDF.	73
Figura 29: Etapas de processamento de resíduos da lixadeira na Usina de Pó.	74
Figura 30: Etapas de processamento na Usina de Pó para material de terceiros.....	74
Figura 31: Sistema de detecção e extinção de faíscas – GreCon.....	77
Figura 32: Níveis de aplicação da Produção mais Limpa.....	82
Figura 33: Material aderido ao queimador da planta térmica, retirado com auxílio de britadeira.	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos e de painéis de madeira reconstituída e suas características.	17
Quadro 2: Componentes clássicos de uma caldeira.	31
Quadro 3: Fatores de emissão de particulados para os processos de combustão em estudo	42
Quadro 4: Características do GN para comercialização no mercado nacional.	49
Quadro 5: Composição química do gás natural distribuído pela Compagás.	50
Quadro 6: Diferenças entre tecnologias de fim-de-tubo e produção mais limpa	64
Quadro 7: Resíduos industriais gerados em indústrias madeireiras.	70
Quadro 8: Características do pó.....	75
Quadro 9: Tabela de Preços do gás industrial	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados globais de consumo e produção de gás natural.....	56
---	----

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BP	<i>British Petroleum</i>
CNTL	Centro Nacional de Tecnologias Limpas
ETDI	<i>Medium Density Particleboard</i>
GLP	Gás liquefeito de Petróleo
GN	Gás Natural
GNL	Gás Natural Liquefeito
HDF	<i>High Density Fiberboard</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MDP	Estação de Tratamento de Resíduos Industriais
MME	Ministério de Minas e Energia
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	Norma Brasileira Registrada
NR	Norma Regulamentadora
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
P+L	Produção Mais Limpa
PCI	Poder calorífico inferior
PCS	Poder calorífico superior
TBS	Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil
TSB	Transportadora Sulbrasileira de Gás
UF	Ureia Formaldeído
UPGN	Unidade Produtora de Gás Natural

LISTA DE ACRÔNIMOS

ABIPA	Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
COMPAGÁS	Companhia Paranaense de Gás
EUA	Estados Unidos da América
GASENE	Gasoduto Sudeste Nordeste

SUMÁRIO

TERMO DE APROVAÇÃO	3
Prof. Luis Mauricio M. de Resende, Dr.....	3
Prof. Guataçara dos Santos Junior, Dr.....	3
Prof. Luis Mauricio M. de Resende, Dr.....	3
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivos Específicos	13
1.2 JUSTIFICATIVA	13
2 PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA MDF	15
2.1 ASPECTO MERCADOLÓGICO DOS PAINÉIS DE MDF	20
2.2 ETAPAS DE FABRICAÇÃO DO PAINEL DE MDF	23
3 GERADOR DE VAPOR - CALDEIRA	29
3.1 HISTÓRICO	32
3.2 CLASSIFICAÇÃO	36
3.2.1 Pressão	36
3.2.2 Grau de automação.....	37
3.2.3 Tipo de troca térmica.....	37
3.2.4 Tipo de energia	39
3.2.4.1 Combustíveis líquidos	40
3.2.4.2 Combustíveis sólidos.....	40
3.2.4.3 Combustíveis gasosos	42
3.3 PROPRIEDADES DOS COMBUSTÍVEIS	42
3.3.1 Poder calorífico	42
3.3.2 Volatilidade	43
3.3.3 Calor latente	44

3.3.4 Ponto de fulgor	44
3.3.5 Ponto de Ignição	44
3.3.6 Ponto de fluidez.....	44
4 GÁS NATURAL	46
4.1 DEFINIÇÃO, COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	46
4.2 HISTÓRICO E INÍCIO DO USO DO GÁS NATURAL	47
4.3 COMPOSIÇÃO E QUALIDADE DO GÁS NATURAL	49
4.4 LOGÍSTICA DO GÁS NATURAL.....	50
4.4.1 Malha de gasoduto no Brasil.....	51
4.5 PANORAMA MUNDIAL DO GN	54
4.5.1.Reservas globais.....	54
4.5.2 Produção e consumo mundial	55
4.6 PANORAMA NACIONAL DO GÁS.....	58
4.6.1 Reservas nacionais	58
4.6.2 Produção e consumo nacional	60
5 PRODUÇÃO MAIS LIMPA	62
5.1 ABORDAGEM PARA EXECUÇÃO DE AÇÕES.....	64
6 METODOLOGIA	67
7 RESÍDUOS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO MDF	68
6.1 ALTERNATIVAS PARA DESTINAÇÃO	68
6.1.1 Compostagem	70
6.1.2 Reintrodução no processo de painéis de madeira	70
6.1.3. Geração de energia.....	71
6.2 USINA DE PÓ	71
6.2.1 Características do Pó	75
6.2.2. Riscos na operação com o pó de madeira	76
6.3 CUSTOS DOS COMBUSTÍVEIS.....	78
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	80

1 INTRODUÇÃO

O aumento da percepção do consumidor final somado à maior disponibilidade e acesso às informações torna aberto o processo de manufatura de muitos produtos. A partir destes dados este consumidor forma sua opinião em relação ao objeto de consumo e analisa outras variáveis convenientes, como o investimento, inovação, qualidade e a responsabilidade social e ambiental ao adquirir o bem. Questões relativas aos impactos no meio ambiente sempre apresentaram preocupações crescentes, não sendo observado decréscimo de atenção relativo a este tema. Para suprir a exigência por melhores práticas de fabricação, incluindo as práticas ambientais, as empresas homologam metas internas para aumentar sua competitividade e conquistar a preferência de um mercado cada vez mais exigente e inteligente. Novas formas de como elaborar o mesmo produto são inventadas e adaptadas diariamente.

O mercado de painéis de madeira no Brasil tem ganhado destaque e recebido grande aporte de investimentos para alavancar a produção e aumentar a sua capacidade instalada. A última década se mostrou um verdadeiro divisor de águas na evolução da tecnologia de fabricação de painéis, sobretudo do MDF (*Medium Density Fibreboard*). Em 2011 o MDF consolidou a posição de painel de madeira reconstituída com maior capacidade nominal instalada, ocupada até 2010 pelo MDP (*Medium Density Particleboard*). No ano seguinte, em 2012, o MDF apresentou aumento de 5,5% em sua capacidade instalada (5.125.000 m³/ano). O consumo interno (3.654.472 m³/ano) tem sido crescente, sendo capaz de absorver praticamente toda a produção (3.678.407 m³/ano) no ano de 2012 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAINEIS DE MADEIRA – ABIPA, 2012a).

Muitas ferramentas dão suporte às atividades a serem realizadas para o aumento do desempenho organizacional. Na esfera ambiental, a avaliação do ciclo de vida (ACV) tem se mostrado uma boa estratégia para análise e diagnóstico ambiental, apontando em qual etapa do ciclo de vida o impacto ambiental é mais significativo.

O estudo conduzido por Piekarski (2013) realizou a ACV do painel de MDF com a abordagem “*cradle-to-gate*”, ou seja, do berço até o portão. O estudo *cradle-to-gate* contempla não apenas o processo de fabricação em si, mas também a

extração das matérias-primas e seu transporte até o portão da fábrica. Uma das ações propostas para melhoria do desempenho ambiental por este autor foi a extinção do uso de gás natural (combustível fóssil) em uma planta térmica que aquece o óleo térmico empregado na prensa de MDF, o que representaria a redução do potencial de aquecimento global em 17% na fabricação de 1,0m³ de painel de MDF.

O gás natural é um excelente combustível, dentre os combustíveis fósseis é um dos que possui a queima mais 'limpa', representada pela inexistência de material particulado. Também é conveniente observar que sua disponibilidade tem sido aumentada graças ao aumento das redes de distribuição preconizada pelo Gasoduto Bolívia- Brasil, o Gasbol. Devido ao Brasil não ser autossuficiente na produção de gás natural, faz-se necessária a importação a partir da Bolívia pelo Gasbol. Em 2012, dos 29,2 bilhões de m³ consumidos no país, 40% foi provindo do país vizinho. O aumento registrado no consumo deste ano em relação a 2011 foi de 8,9%, enquanto o aumento da produção nacional no mesmo período registrou aumento de 3,7%. A principal característica do combustível fóssil está em ser um elemento finito na natureza, sendo possível calcular através da razão entre reserva provada e produção, o tempo de esgotamento destas reservas. Com base em informações da Agência Nacional do Petróleo, ANP, ao final do ano de 2012, a relação entre a reserva e a produção era de 17,9 anos. Anualmente, estes dados são atualizados confrontando o consumo interno e as reservas provadas e novas reservas descobertas (MME, 2013).

A substituição de combustíveis fósseis por renováveis além de ser uma oportunidade de realizar o produto de forma ambientalmente consciente, pode ser uma alternativa economicamente viável, uma vez que as maiores reservas de petróleo e derivados se encontram em países em constante tensão política, cultural e religiosa e recebem influência direta em seus preços.

O processo de fabricação do painel de MDF, como em outros processamentos de madeira, gera resíduos em algumas etapas. Com a abordagem e aplicação do conceito de Produção mais Limpa (P+L), é possível aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não-geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados em um processo produtivo. A problemática gira em torno do acabamento do painel de MDF (corte e lixamento) que

gera resíduos resultantes desse processamento. Este trabalho tem por finalidade elucidar o potencial deste resíduo bem como seu pré-processamento e através do aproveitamento deste, reduzir o consumo de combustíveis fósseis para produção de energia na forma de calor e vapor na caldeira.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o potencial do resíduo de painel de MDF gerado no processo de acabamento para direcioná-lo à geração de energia na forma de ar quente e vapor.

1.1.2 Objetivos Específicos

Analisar o poder calorífico do material gerado na etapa de lixamento e corte, bem como realizar o cálculo de seu potencial no uso como combustível.

Quantificar o material identificado como resíduo, provindo da etapa de lixamento e corte e reutilizá-los, inserindo-os na matriz energética.

Avaliar e propor controles de qualidade do material adquirido para ser consumido na planta térmica.

Realizar o levantamento dos custos na aquisição de combustíveis utilizados na planta térmica.

1.2 JUSTIFICATIVA

A análise do reaproveitamento de resíduos gerados no processo de fabricação do painel de MDF evidencia este material como potencial gerador de energia térmica através de sua pirólise. A substituição parcial ou diminuição do uso do combustível fóssil utilizado na geração de energia através do direcionamento dos resíduos para queima na planta térmica é uma oportunidade para a empresa reduzir custos na aquisição do combustível gás natural.

O reaproveitamento de resíduos gerados na etapa de lixamento e corte, proporciona a diminuição de resíduos enviados para fora da planta para tratamento em terceiros. A aplicação de conceitos da Produção Mais Limpa (P+L) neste processo dá suporte necessário para boas práticas na gestão e diminuição de resíduos e emissões agindo basicamente de forma preventiva na questão ambiental.

A apresentação do tema proposto nesta dissertação pretende ainda, ser uma fonte de informação técnica e bibliográfica para futuros estudos e projetos no âmbito industrial e incentivar a minimização e otimização do consumo de recursos na geração de energia, diminuindo os custos de manufatura na produção de painéis de madeira.

2 PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA MDF

Devido ao encarecimento da madeira maciça, os painéis de madeira surgiram como alternativa a diversos usos, como a fabricação de móveis, utensílios, pisos e elementos decorativos e até mesmo para arquitetura de interiores (BNDES, 2008; PIEKARSKI, 2013).

O MDF (sigla de *Medium Density Fiberboard* ou Painel de Fibras de Média Densidade) é formado por fibras de madeira aglutinadas e compactadas entre si com resina sintética através da ação conjunta de pressão e calor em prensa contínua de última geração (ABIPA, 2013c).

Os painéis de madeira são classificados em dois grupos distintos, os que são feitos de madeira reconstituída e os que têm sua fabricação baseado na madeira processada mecanicamente. O painel de fibras de média densidade, o MDF, se encontra no grupo de painéis de madeira reconstituída e seu aspecto é o ilustrado na figura 1.

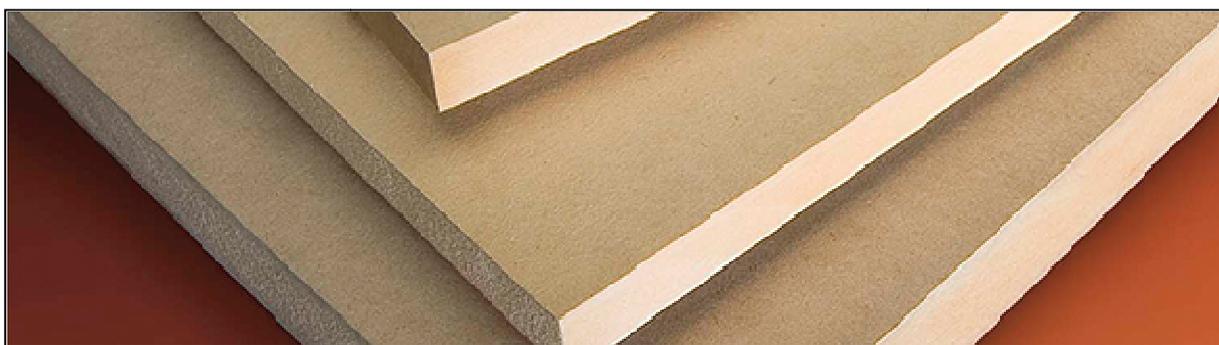


Figura 1: Painéis de MDF in natura (não revestido).

Fonte: Composite Panel Association (2013).

Os painéis de madeira reconstituída têm seu processo de fabricação caracterizado pelo processamento físico-químico da madeira, que passa por diferentes processos de desagregação para que haja formação das fibras ou

partículas de madeira. Já os painéis de madeira processada mecanicamente são formados por camadas de lâminas ou sarrafos de madeira maciça. Ambos os processos sofrem ação de pressão e temperatura, com uso de resinas em alguns casos (BNDES, 2008; PIEKARSKI, 2013).

Entre os painéis de madeira reconstituída, os principais são: MDF, aglomerado/MDP, OSB, chapa de fibra (BNDES, 2008). Os principais painéis citados anteriormente são apresentados e descritos no quadro 1.

Tipo de Painel de Madeira Reconstituída	Características
Aglomerado/ MDP	<p>O aglomerado é uma chapa fabricada com partículas de madeira aglutinadas por meio de resina, com ação de calor e pressão normalmente exercida por uma prensa contínua. No Brasil, a madeira de florestas plantadas – em especial, de eucalipto e de pinus – constitui a principal fonte de matéria-prima.</p> <p>A partir da metade da década de 1990, quando este painel passou a apresentar melhores características e resistência, o aglomerado passou a ser denominado MDP (<i>medium density particleboard</i>), ou painel de partículas de média densidade, numa tentativa de dissociar o novo produto do aglomerado tradicional.</p>
MDF	<p>O MDF (<i>medium density fiberboard</i>) é uma chapa fabricada num processo similar ao do aglomerado/MDP, mas utilizando madeira com maior grau de desagregação, ou seja, reduzida a fibras, que são aglutinadas por meio de resinas, com ação de calor e pressão. Seus correlatos – HDF (<i>high density fiberboard</i>) e SDF (<i>super density fiberboard</i>) – apresentam maior densidade e, portanto, menor espessura. A matéria-prima utilizada nesses painéis é a mesma empregada na fabricação do aglomerado/MDP. No Brasil, as florestas plantadas de eucalipto e de pinus também são a fonte principal de madeira para fabricação desse painel.</p>
OSB	<p>O painel de tiras orientadas – OSB (<i>oriented strand board</i>) – é formado por tiras ou lascas de madeiras orientadas perpendicularmente em diversas camadas, unidas por resinas e sob a ação de alta pressão e temperatura.</p>

(Continua...)

<p>Chapa de fibra/Chapa dura</p>	<p>Também conhecida como chapa dura (<i>hardboard</i>), a chapa de fibra é uma chapa de espessura fina, que resulta da prensagem a quente de fibras de madeira por meio de um processo úmido, que reativa os aglutinantes naturais da própria madeira (sem a adição de resinas) e confere ao produto alta densidade.</p> <p>No Brasil, utiliza-se como matéria-prima a madeira de eucalipto de florestas plantadas.</p>
---	---

Quadro 1: Tipos e de painéis de madeira reconstituída e suas características.

Fonte: BNDES (2008).

Os painéis de madeira são produtos resultantes de muitos anos de estudos, aperfeiçoamento e desenvolvimento de tecnologia em insumos e engenharia, sendo a indústria de painéis aglomerados surgiu no início da década de 40, na Alemanha, fabricando compensados a partir do reaproveitamento de serrarias e resíduos industriais devido ao seu isolamento na 2ª Guerra Mundial. Ao fim da guerra, os Estados Unidos deram continuidade na fabricação e desenvolvimentos destes, realizando melhorias nas plantas industriais e aperfeiçoamentos em plantas industriais e processos produtivos (NAPOLI et al 2012).

No Brasil, o início de sua produção data a partir da metade da década de 1990, períodos onde seu consumo passou a ser largamente incrementado quando os fabricantes de aglomerado e chapa de fibra investiram em modernização e ampliação de suas plantas, implantaram fábricas com produtos novos ou outros investidores vieram somar aos já existentes (BNDES, 2008).

A cronologia apresentada a seguir por REMADE (2004 apud EISFELD 2009) ilustra a presença de painéis de madeira onde, sobretudo o MDF, é considerado recente no Brasil:

- 1858 – Lyman (EUA) desenvolveu a primeira patente em chapas de fibras;
- 1866 – Fleury (EUA) desenvolveu a patente para fabricação de chapas de fibras isolantes pelo processo úmido;
- 1880 – desenvolvimento da tecnologia de produção de chapas duras e isolantes pelo processo úmido;

- 1913 - início da produção de compensado no mundo;
- 1914 – instalação da primeira fábrica de chapas isolantes baseada na tecnologia de produção de papelão;
- 1930 – instalação da primeira fábrica de chapas duras com a utilização de toretes de madeira;
- 1931 – desenvolvimento do equipamento desfibrador “Asplund” na Suécia, através do método contínuo de desfibramento a alta temperatura e pressão;
- 1932 – instalação da primeira fábrica de chapas de fibra na Alemanha;
- 1940 – início da produção de compensado no Brasil;
- 1943 – desenvolvimento do sistema de formação do colchão por método pneumático (ar), que foi a idéia básica para o desenvolvimento do processo seco e semi-seco;
- 1951 – início da produção de chapas duras pelo processo semi-seco;
- 1952 – desenvolvimento de planta piloto para chapas duras pelo processo seco;
- 1955 – início da produção de chapas de fibra no Brasil;
- 1966 – início da produção de chapas de madeira aglomerada no Brasil;
- 1970 – início da produção de chapas de fibras de média densidade (MDF) no mundo;
- 1975 – início da produção de *Waferboard* e OSB no mundo;
- 1997 – início da produção de MDF no Brasil; e
- 2001 – início da produção de OSB no Brasil.

A comercialização de painéis de MDF ocorre com em especificações que variam em dimensão e acabamento. Iwakiri (2005) e BNDES (2007) evidenciam que o comércio destes pode ocorrer sem revestimento ou crus (*in natura*). Usualmente, painéis revestidos são processados e prensados recebendo o papel impregnado com resina melamínica e/ou uréica na própria empresa onde o MDF foi produzido, enquanto que em processos que demandam pintura por exemplo, ocorrem em empresas terceirizadas. Os padrões BP e FF são os mais usuais, sendo o primeiro mais comumente encontrado nas plantas do Brasil. O painéis de madeira podem ser revestidos em uma face ou nas duas faces, em padrões como unicolors,

madeiradas ou fantasia. A seguir, são referenciados e caracterizados os principais tipos de revestimento utilizados para os painéis de madeira.

Laminado de baixa pressão (BP): Lâmina de papel com gramatura de 70 a 180g/m² impregnada com resina melamínica e/ou uréica fundida ao painel pela ação de calor e pressão;

Laminado *Finish Foil* (FF): Película celulósica com gramatura de 30 a 60 g/m², aplicada ao painel utilizando-se resina catalisador e calor, em padrões unicolores, madeirados ou fantasias com acabamentos como standard, reenvernizavel ou já com vernizes em alto brilho ou semi-fosco.

Outros: Laminado de alta pressão (fórmica), lâmina natural de madeira, laca, impressões, pinturas, entre outros. Estes são os revestimentos mais usuais pelo cliente (empresa moveleira) para dar o acabamento nos painéis crus.

O revestimento em papel impregnado agrega valor ao painel e torna-se um diferencial para o público. Nesta etapa de produção, é possível prensar os papéis que darão identidade e cor ao painel em diversas texturas, reproduzindo, por exemplo, o efeito do relevo de tecidos, couro, nós de madeira, dentre outros.

A Norma ABNT NBR 15316-1:2006, utilizada pelos fabricantes brasileiros de painel de MDF o define como:

“Chapa de fibras de madeira com umidade menor que 20% na linha de formação e densidade >450 kg/m³. Essa chapa é produzida basicamente sob ação de calor e pressão com a adição de adesivo sintético”. Para fins mercadológicos, pode ser classificada em:

- a) HDF: chapa com densidade > 800 kg/m³;
- b) Standard: chapa com densidade > 650 kg/m³ e < 800 kg/m³;
- c) Light: chapa com densidade < 650 kg/m³;
- d) Ultra light: chapa com densidade < 550 kg/m³

As diretrizes da norma brasileira são baseadas em normas europeias.

2.1 ASPECTO MERCADOLÓGICO DOS PAINÉIS DE MDF

O MDF é o segundo painel mais consumido no mundo, ficando atrás apenas do MDP. Os dois tipos de painéis tem ao mesmo tempo semelhanças e, no caso do MDF, características únicas que favorecem seu uso. O MDP é utilizado na fabricação de móveis retilíneos (tampos de mesas, laterais de armários, estantes e divisórias) e, de forma secundária, na construção civil. O MDF, devido a suas características mecânicas específicas que o aproximam da madeira maciça, é largamente utilizado na fabricação de móveis e decoração de interiores, pois apresenta boa consistência permitindo usinagens, estabilidade dimensional e grande (BNDES, 2010).

Observa-se na figura 2 que a maior fatia de consumo permanece com o MDP apesar deste não apresentar nos últimos anos o crescimento e homogeneidade verificada entre 1997 e 2001.

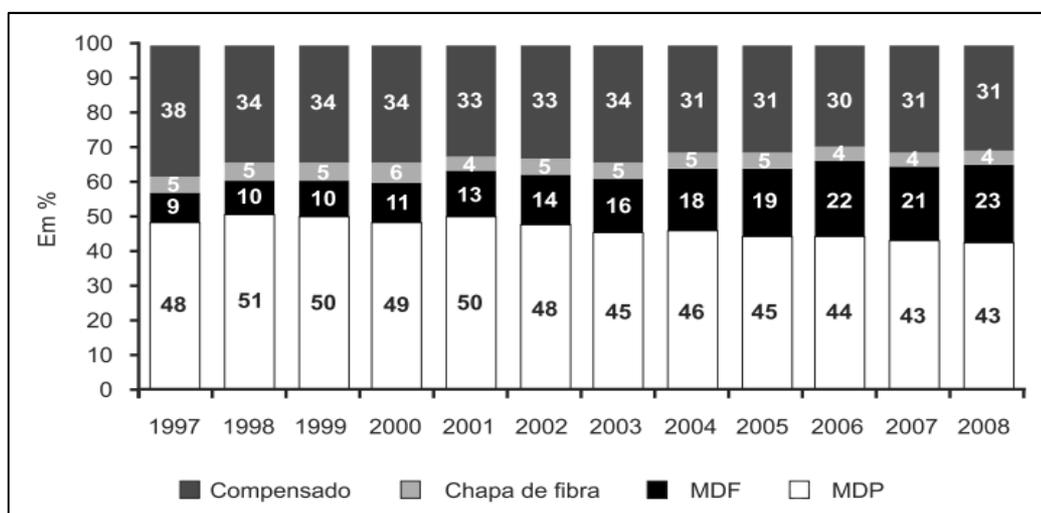


Figura 2: Evolução da participação de cada tipo de painel no consumo mundial.

Fonte: BNDES (2010).

O forte *marketing* realizado acerca das qualidades e aplicações do MDF garantiu crescimento de 14%, o maior entre os painéis no período. O consumo mundial de chapa de fibra permaneceu estável e o de compensado sucintas quedas no consumo, gerando queda de 7% no período apresentado.

O aumento constante da capacidade nominal instalada permite que as indústrias invistam em novas plantas e linhas de produção podendo focar nas tendências de mercado. Acompanhando o crescimento do consumo mundial em MDF, o Brasil também apresentou esta característica ilustrada na figura 3, sendo o consumo liderado desde 2010 pelo painel de MDF, seguindo pelo MDP.

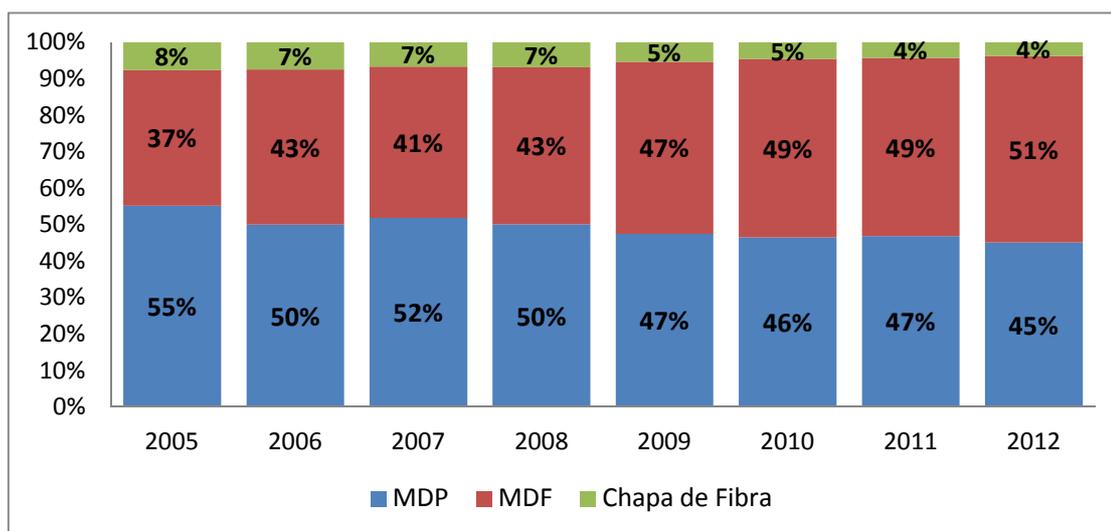


Figura 3: Evolução da participação de painéis de madeira reconstituída no consumo brasileiro.
Fonte: Associação Brasileira de Painéis de Madeira – ABIPA (2013a).

A produção do MDF demonstrou crescimento mais expressivo nos anos que ocupou a posição de painel mais consumido no Brasil. Mesmo com este cenário, o MDP manteve sua produção crescente (figura 4), onde em 2012, foram produzidos 3.260.646 m³ deste painel, enquanto que o MDF apresentou produção de 3.678.407m³. O crescimento em 2012 do consumo do painel de MDF em relação a 2011 apresentou aumento de 15%, com a produção atingindo crescimento de 21%. A capacidade instalada acompanhou a tendência, apresentando elevação de 5,5% (ABIPA, 2013b).

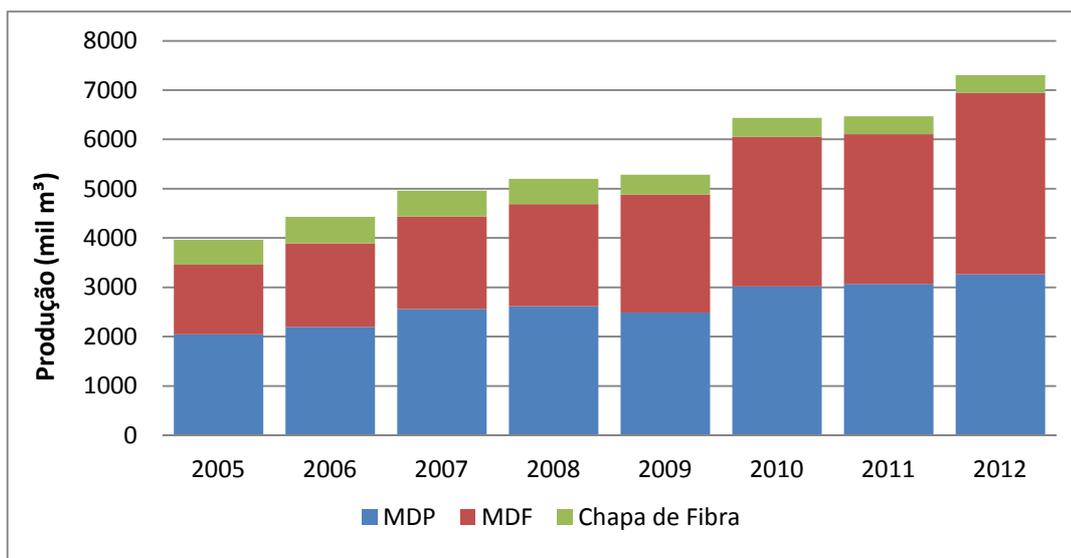


Figura 4: - Evolução da produção de painéis de madeira reconstituída no Brasil.

Fonte: Associação Brasileira de Painéis de Madeira – ABIPA (2013a).

Segundo ABIPA (2013b), os investimentos para o período de 2010 a 2014 são estimados em US\$ 1,2 bilhões. Tais investimentos alavancará a capacidade instalada de 9,1 milhões de metros cúbicos de painéis em 2010 para 10,9 milhões de m³, ou seja, um crescimento próximo a 20% no período. (ABIPA, 2013a). A produção em 2012 alcançou o volume de 7,3 milhões de m³ somada as produções das diversas fábricas distribuídas pelo Brasil. As unidades industriais marcam presença nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Pará. Pode-se observar na figura 5 que o centro-sul do país concentra a maioria das plantas produtoras de painéis de madeira.

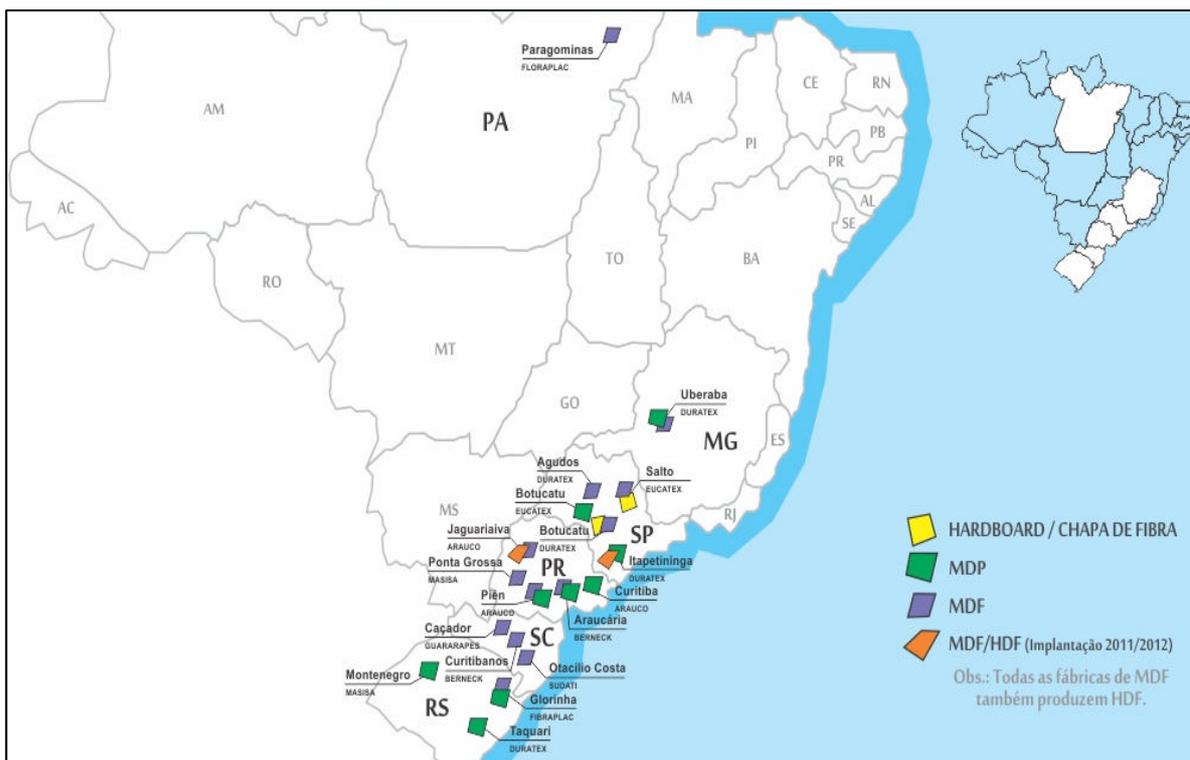


Figura 5: Distribuição das fábricas de painéis de madeira reconstituída no Brasil em 2009.

Fonte: Associação Brasileira de Painéis de Madeira – ABIPA (2013b).

É evidente a forte presença de fábricas de MDP e MDF dentre as indústrias de painel de madeira reconstituída. A instalação de uma indústria produtora de painéis está intimamente ligada à disponibilidade de matéria-prima a fim de evitar que o custo logístico da madeira exerça grande influência no peso no custo do painel de MDF. Basicamente, as etapas de fabricação do painel de MDF são bastante similares entre as indústrias que os produzem. A figura 6 a seguir ilustra a sequência de etapas realizadas no processo de fabricação do painel de MDF.

2.2 ETAPAS DE FABRICAÇÃO DO PAINEL DE MDF

O processo produtivo compreende as seguintes etapas (BNDES, 2010; RIVELA, MOREIRA E FEIJOO, 2007; PIEKARSKI, 2013; DURATEX, 2013) conforme ilustrado na figura 6, descrito a seguir.

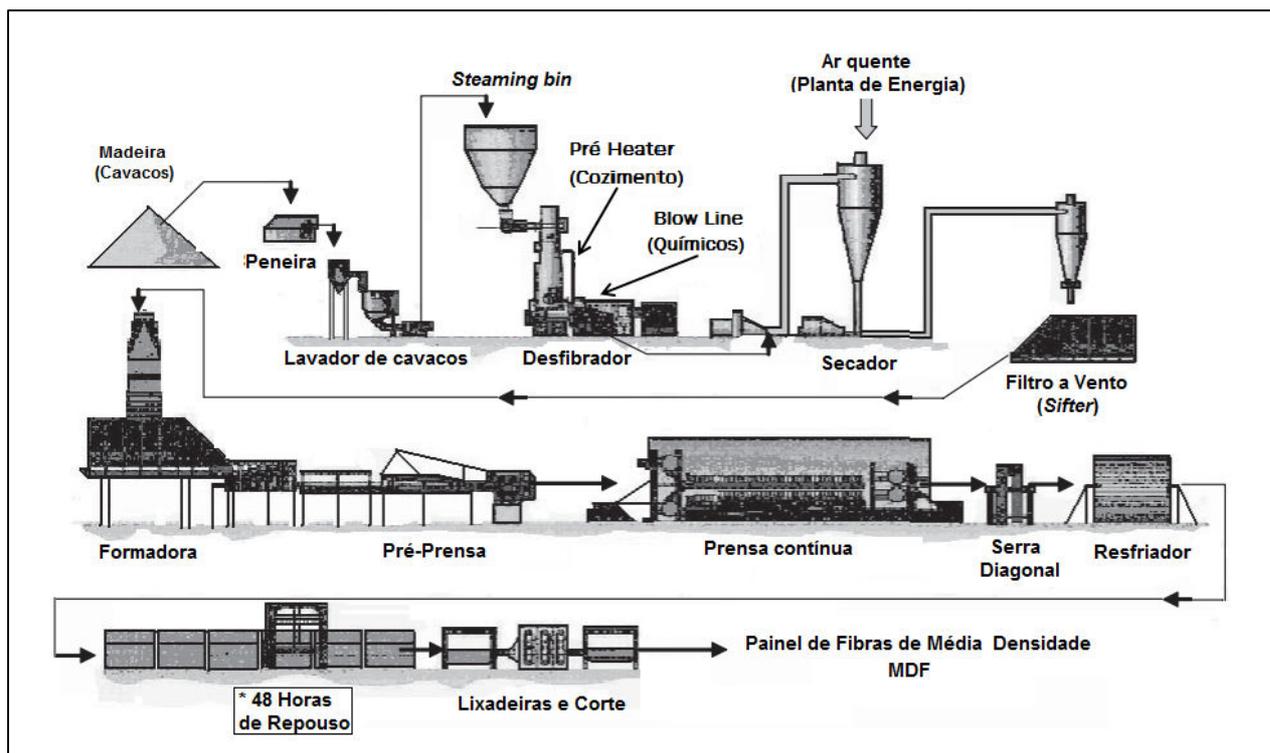


Figura 6: Fluxograma do processo de fabricação do painel de MDF.

Fonte: Adaptado de Rivela, Moreira e Feijoo (2007); Piekarski (2013).

- Pátio de Madeira (Alimentação de madeira): A madeira utilizada pode ser proveniente de dois gêneros: pinus e/ou eucalipto. Essencialmente, a espécie vegetal é oriunda de manejo florestal sustentável. A alimentação de cavacos de madeira pode ser realizada por terceiros ou pelo processamento de toras. Este segundo compreende as etapas de descascamento do pinus através do atrito gerado pelas próprias toras em um tambor descascador cilíndrico e posterior picagem para geração de cavacos. Os cavacos podem ser armazenados em pátio de cavacos, expostos ao tempo ou em silos, se caso houver. A umidade média dos cavacos pode variar entre 40 a 70%, em base seca;

- Peneira: No picador são gerados cavacos de diversos tamanhos que variam entre cavaco ideal, finos e grossos (*oversizes*). Os cavacos que possuírem quaisquer uma de suas dimensões maior que 50 mm são denominados *oversizes* e são direcionados a picadores para adequação de tamanho, onde novamente passam pela etapa de peneiramento. Os finos possuem aspecto de serragem, e são segregados para posterior dosagem, fator que proporciona melhor controle no

processo de cozimento e prensagem para fabricação de painéis. As peneiras utilizadas, basicamente, são as vibratórias ou de rolos;

- Lavador de Cavacos: Os cavacos são lavados para remover as impurezas passando por turbilhonamento em água com temperatura levemente mais elevada em relação ao ambiente onde as partículas indesejáveis como areia e metais são removidas devido a sua maior densidade. Os resíduos e extrativos (lignina) são tratados em evaporador ou em Estação de Tratamento de Despejos Industriais - ETDI com posterior centrifugação do lodo residual;

- Silo de pré-cozimento (*Steaming bin*): Os cavacos são bombeados após serem lavados até peneiras para que ocorra a separação da água, sendo então armazenados em um silo-pulmão onde recebem o primeiro vapor antes do digestor. Após seu tempo de residência nesta etapa, são conduzidos por uma rosca que promove o deságue através da pressão que atua em relação às suas paredes.

- Desfibrador: Os cavacos limpos são amolecidos graças ao cozimento realizado em um digestor vertical com vapor pressurizado e depois transportados para dentro do desfibrador. Os cavacos de madeira aquecidos são desfibrados entre dois discos de 60 polegadas de diâmetro em média, com segmentos denominados refinadores. Um dos discos é estático e este recebe o cavaco em uma abertura central, enquanto o outro disco é rotacionado, promovendo a redução do tamanho dos cavacos com vapor através do cisalhamento até sua periferia onde finalmente são transformados em fibras. A presença de pressão e alta temperatura caracterizam o processo termomecânico. ;

- *Blowline* (Injeção de Químicos): Os químicos empregados são injetados por bicos pressurizados que se inserem resina, parafina e outros aditivos químicos perpendicularmente ao sentido do fluxo das fibras de madeira e acabam sendo incorporados graças ao atrito gerado não só pelos bicos que injetam químicos, mas também por injeções de vapor que causam um turbilhão nesta tubulação, auxiliando na distribuição e cobertura das fibras pelos compostos químicos. A resina utilizada é à base de Ureia-Formaldeído (UF);

- Secador: O ar quente gerado na caldeira realiza a secagem das fibras ao mesmo tempo que as conduz pelo tubo secador após a *blowline*. A geração de calor nesta caldeira pode ocorrer através da combustão de gás natural, aproveitando

o pó de madeira e aparas oriundas do lixamento no acabamento do painel ou da combinação dos dois combustíveis. É comum observar em indústrias de painéis a formação de uma grande nuvem de vapor resultante da evaporação da umidade das fibras neste secador. O ar quente evapora a umidade e conduz a fibra até a próxima etapa que classificará as fibras, denominada filtro à vento (*sifter*).

- Filtro à vento: Após a secagem, o filtro à vento (*sifter*) realiza a remoção de materiais indesejáveis à próxima etapa, a prensagem. Não só materiais metálicos são removidos, mas também borracha, e grumos formados por fibra e resina ao conduzir com vento as fibras por aletas onde as partículas de maior peso não conseguem realizar o caminho (de baixo para cima) no *sifter*, sendo depositadas em uma rosca que remove estas partículas. A fibra secas classificadas, apresentam umidade de $8\% \pm 1\%$ e são conduzidas pelo *conveyor* (transportador de banda) até a formação do painel.

- Formadora: As fibras secas e selecionadas no *sifter* seguem para um silo alimentador que deposita as fibras sobre uma cinta de transporte e distribui uniformemente primeiramente com um pêndulo que auxilia na dosagem de fibras e na sequência, rolos equalizadores, que atuam deixando a superfície do 'colchão' de fibras mais plana e homogênea.

- Pré-Prensa: O 'colchão' de fibras é prensado por uma banda permeável que trabalha desaerando ao comprimir gradativamente as fibras a medida que a banda realiza o deslocamento para conduzi-las à prensa contínua. Entre a pré-prensa e a prensa contínua, há equipamentos de controle, como o raio-x que realiza uma varredura por toda a direção transversal do painel evidenciando dados como densidade, etc. Também há um detector de metal, onde ao evidenciar a presença deste, interrompe o fluxo do colchão de fibras direcionando-o ao *sifter* para que o metal seja removido. Na sequência, um spray pulveriza microgotas de água na superfície do colchão conferindo uma superfície com maior densidade e mais compacta;

- Prensa Contínua: Formada por duas bandas de inox, sendo uma superior e outra inferior, possui em torno de 30 metros de comprimento e realiza a compressão do colchão de fibras para transformá-lo em painéis de MDF. As principais variáveis na prensa são a temperatura, a pressão e tempo (velocidade ou

tempo de residência). A temperatura de operação acontece em torno de 170 a 230°C. As variáveis têm que ser suficientes para que ocorra a cura da resina e conferir propriedades físico-mecânicas ao painel. A pressão específica que as bandas da prensa exercem sobre o colchão de fibras determina a densidade desejada. A prensa contínua é aquecida através do óleo térmico gerado por uma planta térmica específica para este uso;

- Corte do painel máster: A serra diagonal corta o painel no sentido transversal, operando de forma contínua e se deslocando de acordo com a velocidade das bandas da prensa. Para sacar amostras do painel produzido, uma segunda serra diagonal entra em operação, cortando paralelamente a primeira serra;

- Resfriamento e climatização: O MDF vai primeiramente para um resfriador de estrela, onde tem o tempo de residência médio de 45 minutos, sendo empilhado sobre um estrado de metal e levados para ficar em repouso por 48 horas, tempo necessário onde as reações químicas continuam a ocorrer, como a cura da resina, conferindo estabilidade em propriedades físicas e mecânicas do painel;

- Lixadeiras (Acabamento): Na lixadeira, os painéis máster são lixados em suas duas superfícies para padronizar a espessura desejada e realizar o acabamento superficial. A lixadeira possui dois cabeçotes, onde o primeiro realiza um acabamento com lixas mais grossas retirando a sobre-espessura do painel e o segundo cabeçote atua com lixas mais finas conferindo acabamento superficial, bem como padronização final da espessura em todas as regiões do painel. Todos os painéis são classificados por operadores, segregando painéis que apresentam não conformidades. O pó gerado na lixadeira é utilizado como combustível para caldeira;

- Serras Longitudinais e Transversais: Depois de lixados, os painéis são cortados no seu comprimento e recebem identificação referente a produção em sua borda. Em seguida, o corte é realizado na sua largura fazendo com que o painel máster gere três painéis de acordo com a especificação desejada. As aparas geradas pelos cortes no acabamento do painel máster são reutilizados como combustível para a geração na planta de energia;

- Plantas de Energia Térmica: Duas plantas térmicas estão presentes neste processo. Uma delas é utilizada exclusivamente para aquecer o óleo térmico empregado na prensa contínua e nas prensas de baixa pressão que realizam o

acabamento com papel impregnado nos painéis e trabalha utilizado como combustível a biomassa gerada no descascamento do pinus no pátio de madeira. A segunda é responsável por alimentar o secador de fibras com ar quente e prover vapor à planta para diversas atividades como o cozimento dos cavacos. Seu *start up* se deu com gás natural e gradativamente, o emprego de combustível renovável tem se intensificado. O emprego de resíduos gerados pela lixadeira, serragem e maravalha objetiva a redução massiva do uso de combustível fóssil.

3 GERADOR DE VAPOR - CALDEIRA

A caldeira compõe o setor denominado 'utilidades' de uma fábrica, gerando vapor, calor e energia a diversos processos. A escolha do tipo de caldeira a ser empregada ocorre de acordo com as necessidades fabris, podendo depender de fatores como disponibilidade de combustível, quantidade de vapor e/ou calor a ser empregada, qualidade da água, tipos e formas de troca térmica para atender sem que haja gargalos para que seja gerado o calor e o vapor necessários.

As indústrias de processo químico utilizam o vapor como principal fonte de aquecimento para várias etapas produtivas, como em reatores químicos, trocadores de calor, evaporadores, secadores e inúmeros processos e equipamentos térmicos. O vapor também pode ser utilizado como fonte de aquecimento em outros processos, diferentes do químico, incluindo o metalúrgico, metal-mecânico, eletrônica, entre outros (TANAKA, 2007).

O gerador de vapor é definido por Torreira como:

[...] um trocador de calor complexo que produz vapor de água sob pressões superiores a atmosférica a partir da energia térmica de um combustível e de um elemento comburente, ar, estando constituído por diversos equipamentos associados e perfeitamente integrados para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível. Esta definição abrange todos os tipos de geradores de vapor, sejam os que vaporizam água, mercúrio, vapor de óxido de difenil – vapor de água ou fluidos de alta temperatura, bem como as unidades mais simples de geradores de vapor, comumente denominadas de caldeiras de vapor (Torreira, 1995).

A Norma Regulamentadora NR-13 – Caldeiras e vasos de pressão (MTE, 2006), entende que caldeira é um equipamento que simultaneamente geram e acumulam vapor de água ou outro líquido e faz a ressalva de que não devem ser entendidos como caldeiras:

- Trocadores de calor do tipo Reboiler, Kettle, Refervedores, TLE, etc., cujo projeto de construção é governado por critérios referentes a vasos de pressão.
- Equipamentos com serpentina sujeita a chama direta ou gases aquecidos e que geram, porém não acumulam vapor, tais como: fornos, geradores de circulação forçada e outros.

- Serpentinhas de fornos ou de vasos de pressão que aproveitam o calor residual para gerar ou superaquecer vapor.
- Caldeiras que utilizam fluido térmico, e não o vaporizam.

O princípio de funcionamento é normalmente baseado na troca térmica entre a superfície dos tubos metálicos e os gases provindos da queima de um combustível, aquecendo o fluido.

O desenvolvimento de peças e partes que compõe uma caldeira formam um aparelho complexo e repleto de associações. Quanto maior o projeto, maior a quantidade de componentes executores e controladores. O quadro 2 ilustra os componentes clássicos de uma caldeira, com a função de queimar combustíveis sólidos, e a figura 7 permite identificar a localização destes e o princípio básico de funcionamento em um aparelho complexo (MME, 2005).

Componente	Função
1 - Cinzeiro	Lugar onde se depositam cinzas e ou, eventualmente, restos de combustíveis que atravessam o suporte de queima sem completarem sua combustão.
2 - Fornalha	Local onde se inicia o processo de queima seja de combustíveis sólidos (líquidos ou gasosos).
3 - Câmara de Combustão	Volume onde se deve consumir todo o combustível antes de os produtos de combustão atingirem e penetrarem no feixe de tubos. Por vezes, confunde-se com a própria fornalha, dela fazendo parte; outras vezes, separa-se completamente
4 - Tubos evaporadores	Correspondem ao vaso fechado e pressurizado com tubos contendo água no seu interior, a qual, ao receber calor, transforma-se em vapor.
5 - Superaquecedor	Responsável pela elevação da temperatura do vapor saturado gerado na caldeira.
6 - Economizador	Componente onde a temperatura da água de alimentação sofre elevação, aproveitando o calor sensível residual dos gases da combustão direcionados à chaminé.

(Coninua...)

7 - Pré aquecedor de ar	Componente cuja função é aquecer o ar de combustão para introduzi-lo na fornalha, aproveitando o calor sensível dos gases da combustão.
8 - Canais de gases	São trechos intermediários ou finais de circulação dos gases de combustão até a chaminé. Podem ser de alvenaria ou de chapas de aço, conforme a temperatura dos gases que neles circulam.
9 - Chaminé	É a parte que garante a expulsão dos gases de combustão com velocidade e altura determinadas para o ambiente e, indiretamente, promove a boa circulação dos gases quentes da combustão através de todo o sistema pelo chamado efeito de tiragem.

Quadro 2: Componentes clássicos de uma caldeira.

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2005).

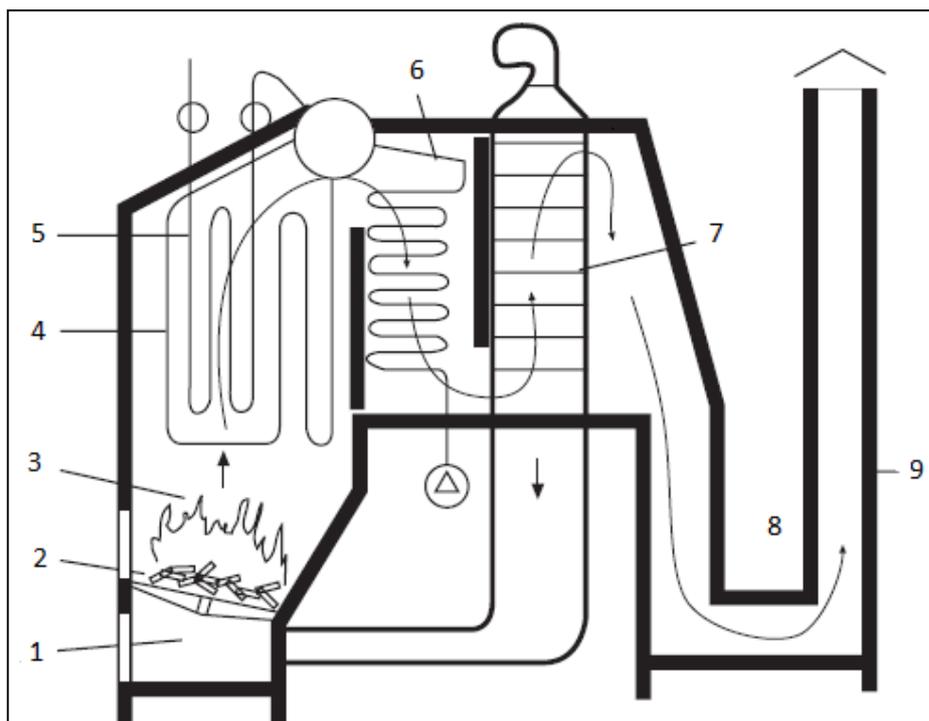


Figura 7: Componentes de uma caldeira.

Fonte: Pêra (1990 apud Ministério de Minas e Energia, 2005).

3.1 HISTÓRICO

Os primeiros passos dados em direção ao uso do vapor datam no século I, com a construção de uma espécie de turbina a vapor, chamada de eolípila, pelo estudioso Heron de Alexandria. O engenho ilustrado na figura 8 constituía-se de uma esfera de metal com água que produzia vapor que se expandia e fazia a esfera girar quando saía através de dois bicos, colocados em posições diametralmente opostas. O experimento não produzia nenhum trabalho útil, não sendo então direcionado para nenhuma utilidade prática (CHD VALVULAS, 2014).

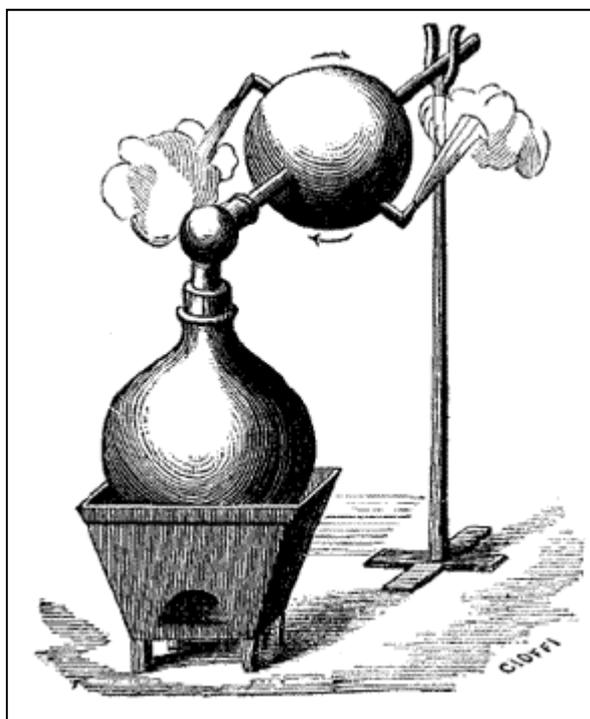


Figura 8: Eolípila, uma espécie de turbina a vapor construída nos primeiros anos da era cristã por Heron.

Fonte: Tanaka (2007).

Mas as primeiras aplicações práticas ou de caráter industrial de vapor somente surgiram por volta do século 17. O inglês Thomas Savery patenteou em 1698 um sistema utilizando vapor como força motriz para bombear água. Em 1711, Newcomen desenvolveu outro equipamento com a mesma finalidade, aproveitando ideias de Denis Papin, um inventor francês. A caldeira de Newcomen (figura 9) era

composta por um reservatório esférico, com aquecimento direto em sua base e ficou conhecida como caldeira de Haycock (BIZZO, 2003).

As máquinas a vapor formaram a base tecnológica para a Revolução Industrial. Foi somente no século XVII, mais precisamente em 1690, que o físico francês Denis Papin desenvolveu um equipamento bastante rudimentar composto por um pistão dentro de um cilindro que ficava sobre uma fonte de calor e no qual se colocava uma pequena quantidade de água. Quando a água se transformava em vapor, a pressão deste forçava o pistão a subir. Então a fonte de calor era removida o que fazia o vapor esfriar e se condensar gerando vácuo parcial no interior do cilindro. A pressão do ar acima do cilindro exercia maior esforço do que a força dentro do cilindro com pressão inferior à atmosférica, empurrando o mesmo para baixo, realizando o movimento (INDUSATTE, 2014).

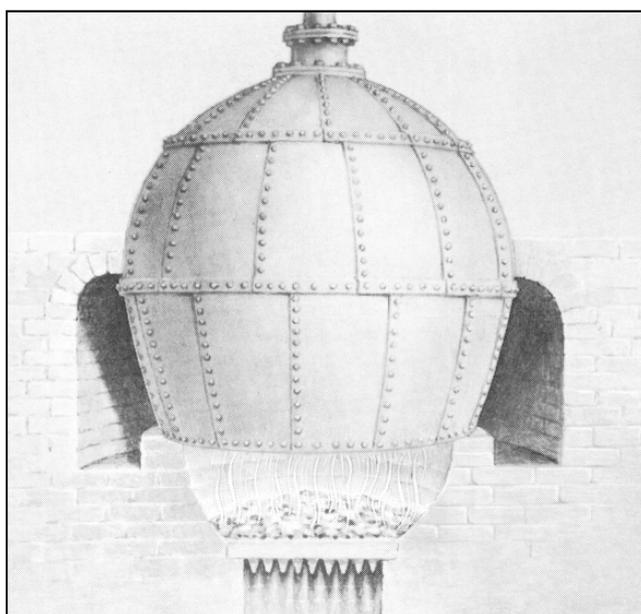


Figura 9: Caldeira de Haycock, 1720

Fonte: BIZZO (2003).

O desenvolvimento das caldeiras prosseguiu recebendo novos desenhos, como a caldeira vagão, em 1769 por James Watt. O surgimento dos primeiros geradores de vapor com tubos de água ocorreu no final do século 18 e início do século 19. O modelo de John Stevens (figura 10) movimentou um barco a vapor no Rio Hudson. Em 1856, Stephen Wilcox projetou um gerador de vapor com tubos

inclinados (figura 11), passando a ser produzidas após a associação com George Babcock, atingindo grande sucesso comercial (BIZZO, 2003).

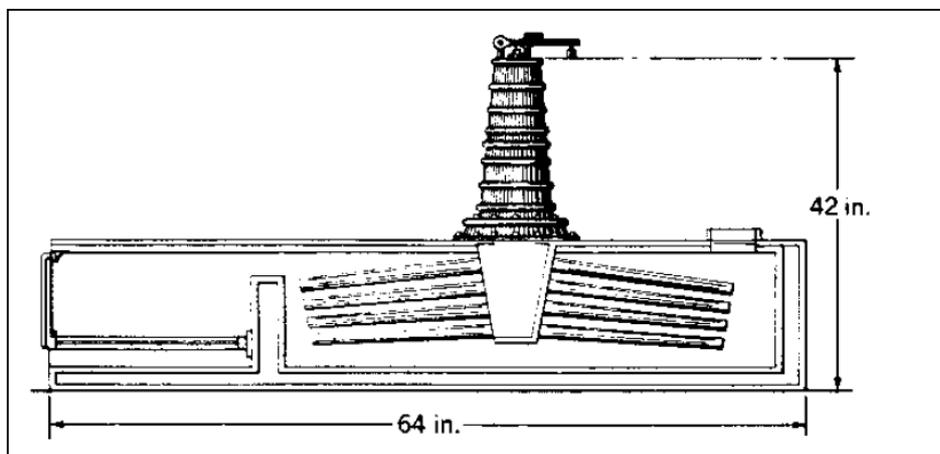


Figura 10: Caldeira de tubos de água, 1803

Fonte: Bizzo (2003).

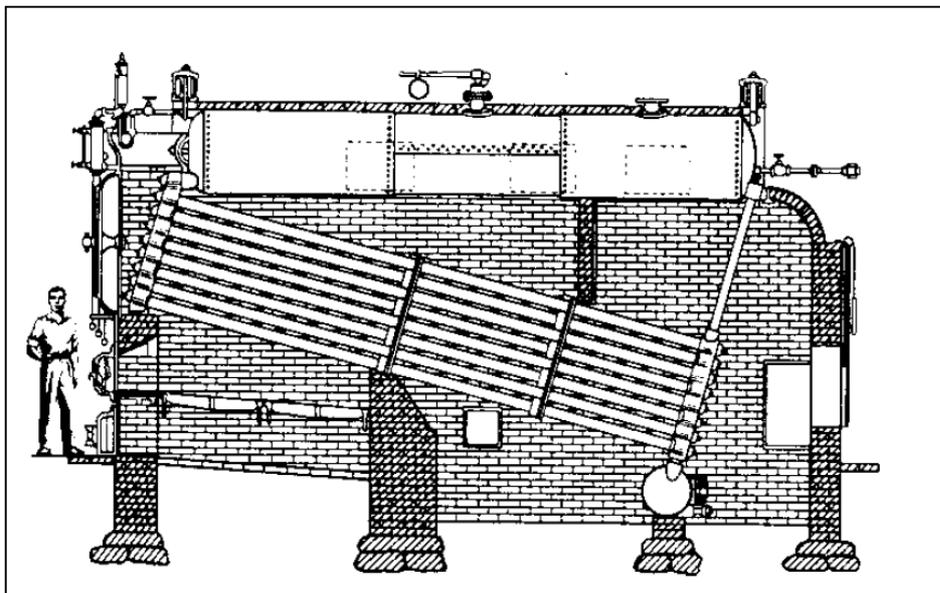


Figura 11: Caldeira de tubos de água inclinados, 1803

Fonte: Bizzo (2003).

Em 1880, Alan Stirling desenvolveu a caldeira de tubos curvados. As caldeiras aquatubulares utilizam a ideia original da criação de Stirling (figura 12). Nesta época, esta modalidade de caldeira foi inserida na geração de energia elétrica e demais desenvolvimentos técnicos dos geradores de vapor, como o aumento das

pressões e temperaturas de trabalho, e no rendimento térmico, com utilização dos mais diversos combustíveis possibilitaram maior presença, incluindo a aplicação na propulsão marítima, fato que alavancou o desenvolvimento de equipamentos mais compactos e eficientes (BIZZO, 2003).

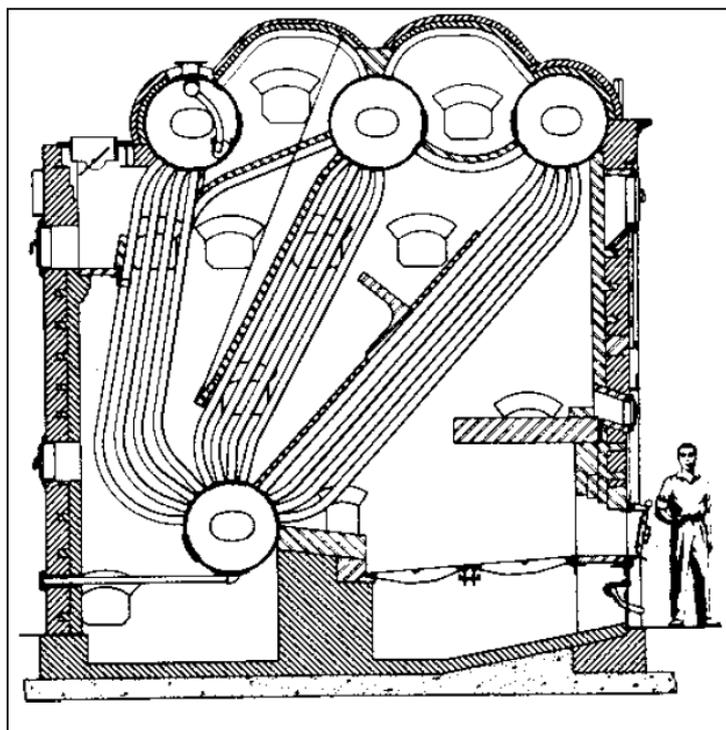


Figura 12: Caldeira de tubos curvados, Stirling, 1880.

Fonte: Bizzo (2003).

Na Inglaterra, as fábricas têxteis existentes no século XVIII utilizavam energia hidráulica e ganharam um impulso maior em 1785 quando a força motriz começou a ser gerada pelo vapor, o impulso para a Revolução Industrial. No Brasil, uma das mais bem-sucedidas aplicações da máquina a vapor se deu em 1869, na fábrica de tecidos São Luiz, em Itu, interior paulista (MARCOLIN, 2012).

A caldeira ilustrada na figura 13 foi instalada na fábrica São Luiz impulsionava máquinas de desencaroçar algodão, de fiação e de tecelagem. A caldeira gerava o vapor que movimentava o eixo do sistema de transmissão que atravessava o salão onde ficavam os teares, ligados esse eixo por uma correia. Os teares eram acionados por uma correia, sendo movimentados e manuseados por operárias. Somente em 1903 a energia elétrica foi inserida no contexto produtivo, e

continuou suas atividades até 1982, quando foi tombada pelo patrimônio histórico (MARCOLIN, 2012).



Figura 13: Fornalha (esq.) que recebia lenha para queima e caldeira (dir.) que gerava o vapor na fábrica São Luiz.

Fonte: MARCOLINI (2012).

3.2 CLASSIFICAÇÃO

As caldeiras podem ser classificadas de acordo com as classes de pressão, o grau de automatização, os tipos de energia empregada e o tipo de troca térmica. Ainda há outras formas particulares utilizadas para classificá-las, dependendo do tipo de montagem, sistema de tiragem, tipos de sustentação e circulação da água (MOREIRA, 2011).

3.2.1 Pressão

Para fins de segurança operacional, as caldeiras são classificadas pela NR-13 (MTE, 2006) levando em consideração o a pressão de operação e o volume interno da caldeira, pois a capacidade de geração de vapor não é um indicativo de

risco à segurança em sua operação. A classificação a seguir, segrega em classes de acordo com a energia disponível na caldeira:

- Caldeiras da categoria “A” são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19,98 kgf/cm²).
- Caldeiras categoria “C” são aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 588 kPa (5,99 kgf/cm²) e o volume é igual ou inferior a 100 litros.
- Caldeiras categoria “B” são todas aquelas que não se enquadram nas categorias anteriores.

3.2.2 Grau de automação

De acordo com o grau de automação, as caldeiras podem se classificar em:

- Manuais;
- Semi-automáticas e
- Automáticas.

3.2.3 Tipo de troca térmica

A forma como a troca térmica entre os gases da queima e a água classifica as caldeiras em:

- Flamotubulares;
- Aquatubulares e
- Mistas.

3.2.3.1 Flamotubulares

É denominada flamotubular ou tubo de fogo devido ao calor dos gases quentes ser transmitido ao circular no interior dos tubos, que ficam com a água em contato por fora dos mesmos. Também denominada de caldeira escocesa, possui

construção simples e está presente mesmo com a inserção de equipamentos mais modernos na geração de vapor (MME, 2005).

A fornalha possui forma cilíndrica e a grande maioria das caldeiras flamotubulares modernas utiliza somente combustíveis líquidos ou gasosos devido a complexidade de se inserir grelhas para o uso de combustíveis sólidos. Há algumas caldeiras flamotubulares de pequena capacidade que queimam combustíveis sólidos graças a uma adaptação nas grelhas na fornalha, entretanto, o tamanho é limitado ao tamanho necessário da área de grelha. Para a queima de combustíveis sólidos, a caldeira recomendada é a mista (BIZZO,2003).

3.2.3.1 Aquatubulares

Nesse tipo de caldeira, os tubos que, nas caldeiras flamotubulares, conduziam gases aquecidos, passaram a conduzir a água (figura 14), o que elevou significativamente a superfície de aquecimento, aumentando bastante a capacidade de produção de vapor (CHD VÁLVULAS, 2014).

Após o surgimento deste tipo de caldeira, pode-se trabalhar com pressões mais elevadas devido ao aumento da superfície de contato da água com o calor ao redor dos tubos.

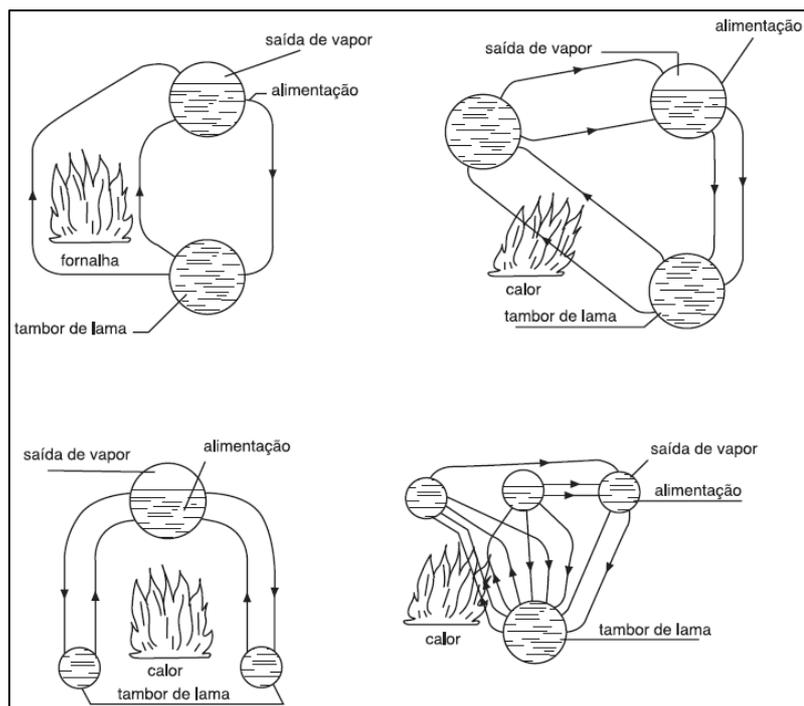


Figura 14: Desenho esquemático do funcionamento de uma caldeira aquatubular.

Fonte: Pêra (1990, apud MME, 2005).

Seu princípio de funcionamento baseia-se no princípio da Física, onde quando um líquido é aquecido, as primeiras partículas aquecidas apresentam menor densidade, subindo na coluna do líquido, enquanto que as frias, que são mais densas, descem. Essas partículas que esfriam, ao descer recebem calor, tornando a subir, fechando o ciclo deste movimento contínuo, até que a água entre em ebulição (TANAKA, 2005).

3.2.4 Tipo de energia

Um elemento primordial para a geração de energia é o combustível. Sua interação com elemento comburente, usualmente oxigênio, libera a energia representada pelas chamas, gases e calor. A transformação da energia contida no combustível com a pirólise resulta em energia utilizável nos mais diversos processos.

Segundo Bizzo (2003), para a seleção do tipo de combustível, alguns itens devem ser levados em consideração para que as necessidades de vapor e energia

sejam satisfeitos. É necessário analisar o custo por conteúdo energético (buscando a redução de custos), a disponibilidade do combustível, a facilidade de transporte e armazenamento, possibilidade de utilização dentro de tecnologias disponíveis, baixo custo operacional e de investimento.

Em linhas gerais, a escolha fica na maioria das vezes em torno do custo de implantação e manutenção. Porém, tem-se observado o crescimento de empresas que não se preocupam somente com estas questões, mas também prezam pela sua responsabilidade ambiental na escolha da forma como produzirá e consumirá energia e vapor. A forma como será gerada pode ser alimentada por combustíveis fósseis (não renováveis) ou vegetais (renováveis). Os combustíveis fósseis incluem carvão, petróleo e seus derivados e gás natural, enquanto os vegetais incluem o bagaço de cana, madeira, carvão vegetal e resíduos vegetais em geral. A classificação de uma caldeira também pode estar relacionada ao tipo de energia empregada. Dentro das necessidades apontadas anteriormente, os combustíveis podem ser basicamente identificados como: combustível sólido, líquido, gasoso.

3.2.4.1 Combustíveis líquidos

Os combustíveis líquidos amplamente utilizados para alimentar geradores de vapor são: petróleo e derivados que apresentem propriedades de escoamento, óleo de xisto, alcatrão, álcool e óleos vegetais. Os óleos combustíveis são um dos combustíveis mais consumidos em caldeiras.

3.2.4.2 Combustíveis sólidos

A madeira é o combustível sólido mais utilizado, sendo considerado uma importante fonte renovável de energia.

Os derivados da madeira, que de acordo com a Resolução nº. 054/06 da Sema – Paraná, são definidos como a lenha, cavacos, serragem, pó de lixamento, casca, aglomerado, compensado e outros que não receberam tratamento com produtos halogenados ou revestidos.

Segundo Floresta Colonial (2000), um estéreo de madeira seca, aproximadamente 450 kg, é equivalente a 210 litros de óleo combustível que, por sua vez, equivalem a 282 kg de carvão mineral quanto ao poder calorífico produzido, mas esses valores não são fixos, pois dependem também de fatores como composição química, a granulometria, a massa específica básica e o teor de umidade da madeira, além das características das instalações da queima (GATTO et al., 2003).

De acordo com o estudo de Silva et al. (1984 apud GATTO et al., 2003), foi encontrado para a espécie *Eucalyptus viminalis*, com teor de umidade de 12% e peso específico de 0,57 g/cm³, um poder calorífico de 4.691 kcal/kg para a madeira e 3.495 kcal/kg para a casca. Já Vale et al. (2000) encontraram, para a *Acacia mangium*, um poder calorífico superior médio de 4.619 kcal/kg e para o *Eucalyptus grandis* 4.641 kcal/kg.

Combustíveis sólidos também podem ser queimados na forma de pó. Para combustíveis sólidos pulverizados, a introdução de combustível na fornalha pode ser feita através de dispositivos de atomização que garantam a granulometria e a dispersão para queima dentro da fornalha (CHD VÁLVULAS, 2014).

As três formas mais utilizadas em caldeiras para geração de vapor são a lenha (toras de madeira), o cavaco (lascas de madeira) e o briquete (bloco cilíndrico compacto, de alta densidade, composto por resíduos de madeiras e vegetais em geral).

- Cavacos: São lascas, resultante do processamento da madeira, sendo subproduto das serrarias. Para o processo de fabricação do painel de MDF, os cavacos são a maior matéria-prima em volume. Seu poder calorífico é considerado baixo, não sendo superior a 2500 kcal/kg.

- Briquete: O briquete é composto por resíduos de madeiras em geral, como pó de serra, maravalhas/fitinhas, cavacos ou pedaços de madeiras picadas, sem o uso de aglutinantes. É utilizado em fornos, caldeiras, aquecedores, torradores e outros. Possui forma cilíndrica, e densidade de até 1200kg/kg, seis vezes mais em relação aos resíduos que o deram origem. Seu poder calorífico é de 4800kcal/kg e apresenta umidade entre 10 a 12%. (BRINOP, 2009, apud ARRUDA, 2009).

- Lenha: Um dos primeiros combustíveis utilizado pelo home, a lenha é um combustível caracterizado pelo seu baixo custo. Seu poder de combustão recebe

forte influência do teor de umidade, onde quanto maior, a umidade contida, maior é o calor gasto para sua evaporação. Normalmente, apresenta umidade entre 20% e 45%, sendo que com umidade de 20 % seu poder calorífico inferior é de 2.300 kcal/kg (BRINOP, 2009, apud ARRUDA, 2009).

3.2.4.3 Combustíveis gasosos

Os combustíveis gasosos mais utilizados incluem o gás natural (metano), hidrogênio, gás liquefeito de petróleo - GLP (butano e propanol), gás de coqueira (siderúrgica), biogás entre outros.

O gás natural possui a vantagem de apresentar uma combustão limpa e praticamente isenta de fuligem. No quadro 3 a seguir, Phillips et al. (1998) observou o comportamento na emissão de fuligem entre o gás natural e o óleo combustível na queima em uma usina termelétrica.

Óleo combustível em usinas termelétricas	1,85 kg/m ³ de óleo
Gás Natural em usinas termelétricas	224 kg/10 ⁶ m ³ de gás

Quadro 3: Fatores de emissão de particulados para os processos de combustão em estudo
Fonte: Phillips et. al. (1998).

3.3 PROPRIEDADES DOS COMBUSTÍVEIS

Os combustíveis apresentam propriedades a ser consideradas, como o poder calorífico, volatilidade, calor latente, viscosidade e ponto de fulgor (VELASCO, 2009; ARRUDA, 2009).

3.3.1 Poder calorífico

O poder calorífico pode ser definido como a quantidade de energia interna contida no combustível. Logo, quanto maior o poder calorífico, maior será energia contida. (VELASCO, 2009)

Um combustível é constituído, sobretudo, de hidrogênio e carbono, tendo o hidrogênio o poder calorífico de 28.700 kcal/kg, enquanto que o do carbono é de 8.140 kcal/kg, e por isso, quanto mais rico em hidrogênio for o combustível maior será o seu poder calorífico (SILVA e SILVA, 2008).

Em combustíveis vegetais, a presença do oxigênio diminui o poder calorífico destes combustíveis, e conseqüentemente as exigências teóricas de ar de combustão (Bizzo, 2003).

O poder calorífico é representado por poder calorífico inferior e poder calorífico superior.

3.3.1.1 Poder calorífico superior (PCS)

O poder calorífico superior é representado pelo calor liberado pela combustão de uma unidade de massa de um combustível em um volume constante. O valor inclui toda água condensada (no estado líquido), é denominado poder calorífico superior (VELASCO, 2009; ARRUDA, 2009).

3.3.1.2 Poder calorífico inferior (PCI)

O poder calorífico inferior (PCI), é o calor liberado pela combustão de uma unidade de massa de um combustível, em pressão constante, com a água permanecendo no estado de vapor. (ARRUDA, 2007).

O calor liberado é diretamente dependente do teor de umidade do combustível. O teor de hidrogênio é determinante no PCI, normalmente apresentando valor 10% mais baixo que o PCS (MME, 2005).

3.3.2 Volatilidade

Segundo Arruda (2009) volatilidade é a grandeza representada pela facilidade de determinada substância de passar do estado líquido ao estado gasoso

ou de vapor. Um combustível é tanto mais volátil quanto menor for a pressão interna e quanto maior for a temperatura externa.

Para o bom funcionamento do equipamento, a volatilidade não deve ser muito elevada, senão pode haver perda de combustível no reservatório e formação de bolhas de vapor no sistema de alimentação, e nem muito baixa, para não ocorrer dificuldade na ignição do combustível, alimentação de combustível desuniforme, maior tempo para atingir a temperatura ideal, e uma maior formação de carvão (VELASCO, 2009).

3.3.3 Calor latente

É a quantidade de calor absorvido pelos corpos na sua mudança de estado, sem que haja aumento aparentemente de temperatura (VELASCO, 2009).

3.3.4 Ponto de fulgor

É a temperatura que o combustível atinge para que a superfície líquida do combustível libere vapor suficiente sob ação de uma fonte externa de calor, e haja ignição e combustão transitória. É um valor importante na questão do planejamento de como transportar e armazenar o líquido em condições seguras (BIZZO, 2003).

3.3.5 Ponto de Ignição

É a temperatura do combustível na qual a chama escorvadora provoca uma combustão continuada sobre a superfície do mesmo (BIZZO, 2003).

3.3.6 Ponto de fluidez

Ponto de fluidez é a temperatura mais baixa na qual o líquido ainda flui nas condições normais estabelecidas pelo método de determinação. Esta medida é

importante para a determinação das características de armazenagem e de transporte do combustível. Não há uma relação direta entre o ponto de fluidez e a viscosidade do óleo combustível (BIZZO, 2003; ARRUDA, 2009).

4 GÁS NATURAL

4.1 DEFINIÇÃO, COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Assim como o petróleo, o gás natural - GN é um combustível fóssil resultante da decomposição gerada no período pré-histórico de matéria orgânica originada de grandes quantidades de organismos que existiam no mares. Os movimentos de acomodação da crosta da terra causaram o soterramento dessa matéria orgânica a grandes profundidades e essa decomposição se realizou em ausência de ar, a grandes temperaturas e sob alta pressão (COMPAGÁS, 2014a).

É composto por uma mistura de hidrocarbonetos leves e gases inorgânicos saturados com água, onde em alguns casos pode apresentar traços de mercúrio em equilíbrio. É extraído diretamente de jazidas (reservatórios petrolíferos ou gaseíferos) localizadas em bacias sedimentares tanto *onshore* (em terra) quanto *offshore* (no mar) e é produzido de forma associada ao óleo ou de forma isolada, também denominada não associada (GOMES, 2007; BRASIL, 1997; GEROSA, 2012), ilustrado na figura 15.

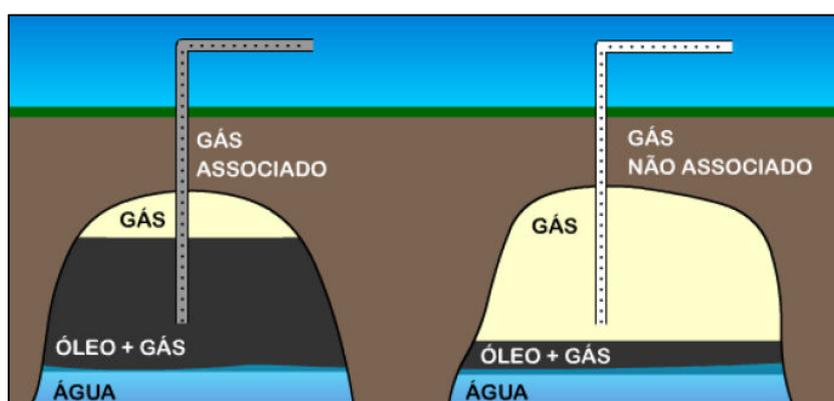


Figura 15: Ilustração dos reservatórios de gás natural associado e não associado

Fonte: BahiaGás (2014).

O gás natural associado aparece dissolvido ao petróleo, formando uma câmara de pressão acima da superfície do líquido, ajudando no processo de elevação do petróleo até a superfície através da injeção do gás, também conhecido como *gas-lift*. Nestas condições, o gás sai juntamente com o óleo. Devido a

presença do óleo, possui quantidades significativas de hidrocarbonetos pesados, conseqüentemente com maiores peso molecular e massa específica. Depois de extraído, o 'gás+óleo' passa por um separador e pode ser destinado para o consumo, ou reinjetado para auxiliar na extração do petróleo ou mesmo consumido para gerar energia em plataformas de extração em reservatórios *offshore* (LOURENÇO, 2006; GEROSA, 2012).

O gás denominado não associado está isento ou apresenta quantidades de óleo muito pequenas e por possuir uma sequencia de hidrocarbonetos constituintes mais leves pode ser produzido em pressões mais elevadas, o que pode ser considerado uma vantagem nas etapas de processamento, transporte e armazenamento (GOMES, 2007).

4.2 HISTÓRICO E INÍCIO DO USO DO GÁS NATURAL

De acordo com registros antigos, a descoberta do gás natural ocorreu no Irã, entre 6000 e 2000 a.C.. O gás natural já era conhecido na China desde 900 a.C., entretanto, em 211 a.C. houve início a extração da matéria-prima, com o objetivo de secar pedras de sal. Para realizar a extração, varas de bambu eram empregadas para retirar o gás natural de poços com profundidade aproximada de 1.000 metros (MORAES, 2003).

Em 1609, o químico holandês Vau Helmont descobriu que uma substância não visível, denominada de *geist* (alma em alemão), entrava em combustão com grande desprendimento de energia (calor). Entretanto, o gás somente teve sua utilização industrial no auge da Revolução Industrial, no ano de 1795 (LOURENÇO, 2006).

No continente americano, os primeiros registros de uso do GN datam de 1821 nos Estados Unidos, quando foi utilizado para iluminação em Fredonia no estado de Nova Iorque. Em 1865, ao mesmo tempo em que as indústrias siderúrgicas estavam se desenvolvendo, surgiu a primeira empresa de GN e em 1869 o petróleo começou a ser aproveitado em escala industrial quando Eldwin Drake descobriu uma jazida de 21 metros de profundidade, instalando uma refinaria rudimentar para a processar o petróleo, produzindo querosene que veio a substituir

o carvão (melhor combustível na época) e os óleos de rícino e baleia utilizados na iluminação e na cocção (LOURENÇO, 2003; NAKIĆENOVIC et al, 2000).

O ano de 1870 é marcado pela fundação da primeira empresa petrolífera nos Estados Unidos, comandada por John Rockfeller, tornando possível atender a demanda da cidade da Pensilvânia com a construção de um gasoduto de nove quilômetros de extensão e duas polegadas de diâmetro. Em 1912, no Canadá, um gasoduto de 273 quilômetros de extensão e dezesseis polegadas de diâmetro foi construído em Calgary, visando atender as necessidades desta cidade (LOURENÇO, 2006).

Os avanços tecnológicos na construção de gasodutos no final de 1930 permitiram que o GN fosse transportado para longos percursos. Entre 1927 e 1931, haviam mais de uma dezena de linhas de transmissão de grande porte nos EUA, mas sem alcance interestadual. A Segunda Guerra Mundial contribuiu no aumento da disponibilidade do combustível, ao mesmo tempo em que novas reservas eram descobertas, reduzindo o preço em relação ao *'town gas'*. Até 1960, as construções do pós-guerra demandaram a instalação de milhares de quilômetros de dutos graças a avanços em técnicas de metalurgia e soldagem, proporcionando aumento de vazão de GN (MORAES, 2003).

No Brasil, Irineu Evangelista de Souza, o Barão de Mauá, assinou em 1851 um contrato que determinava a construção de uma fábrica de gás na cidade do Rio de Janeiro e a instalação de canalizações em perímetros determinados que permitiu a substituição do óleo de baleia utilizado na iluminação. Este fato só foi consumado em 1854 quando os primeiros lampiões foram acesos com gás na cidade. Em 1872 a San Paulo Gas Company, atual Compagás, iniciou a exploração dos serviços públicos de iluminação de São Paulo (MORAES, 2003).

Em 1940, com as descobertas de óleo e gás na Bahia, o GN começou a ser modestamente utilizado. Em poucos anos, após atender as indústrias localizadas no Recôncavo Baiano, as bacias do Recôncavo, Sergipe e Alagoas eram praticamente 100% destinadas para a fabricação de insumos industriais e combustíveis para a refinaria Landolfo Alves e o Pólo Petroquímico de Camaçari (MORAES, 2003).

4.3 COMPOSIÇÃO E QUALIDADE DO GÁS NATURAL

O hidrocarboneto predominante é o metano (CH₄), também há presença de quantidades significativas de etano (C₂H₆) e quantidades menos expressivas de hidrocarbonetos com peso molecular maior, como o propano (C₃H₈) e o butano (C₄H₁₀), ambos componentes do do gás liquefeito de petróleo (GLP), além de hidrocarbonetos com mais de cinco átomos de carbono. Assim como o petróleo, o GN não apresenta uma composição única, sendo necessário que haja mecanismos para padronização e medições de controle de qualidade (CONFORT, 2006). No Brasil, a especificação estabelecida no Regulamento Técnico ANP n°3/2002, Anexo da Portaria ANP 104, de 8 de julho de 2002 pode ser visualizada no quadro 4:

CARACTERÍSTICAS (1)	UNID.	GRUPOS			MÉTODOS
		B (baixo)	M (médio)	A (alto)	
Poder calorífico superior (PCS)	kcal/m ³	8000 a 9000	8800 a 10200	10000 a 12500	ASTM D 3588
Densidade relativa ao ar		0,54 a 0,60	0,55 a 0,69	0,66 a 0,82	ASTM D 3588
Teor de Gás Sulfídrico (H ₂ S), máx.	mg/m ³	20	20	20	ASTM D 5504 ou ISO 6326-3
Teor de Enxofre (H ₂ S e enxofre mercaptídico), máx.	mg/m ³	80	80	80	ASTM D 5504 ou ISO 6326-3
Teor de Dióxido de Carbono (CO ₂), máx. (2)	% Volume	2	2	2	ASTM D 1945 ou ISO 6974
Teor de Inertes, máx. (3)	% Volume	4	4	4	ASTM D 1945 ou ISO 6974
Teor de Oxigênio (O ₂), máx.	% Volume	0,5	0,5	0,5	ASTM D 1945 ou ISO 6974
Pto de orvalho de água, 1atm, máx (4)	°C	-45	-45	-45	ASTM D 5454

Quadro 4: Características do GN para comercialização no mercado nacional.

Fonte: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (1998).

Para efeito de segurança e meio ambiente, o GN deve ser capaz de garantir determinadas características e odores. Ao ser extraído da jazida, o gás é inodoro e incolor, o que impede a sua percepção no caso de vazamentos. Para garantir que seja percebido pelo olfato em caso de vazamentos, ele é odorado com mercaptanas, dentro de certos limites, na proporção de 25 gramas para cada 1000 metros cúbicos. Desta forma, a percepção do GN torna-se possível a partir do

instante em que a mistura com o ar atinge 20% do limite inferior de inflamabilidade. A densidade relativa ao ar apresenta valor médio de 0,6, o que permite uma rápida dissipação em caso de vazamento. Estes dois fatores fazem do gás natural um combustível que pode ser utilizado com segurança, desde que sejam obedecidos alguns cuidados relativamente simples. O quadro 5 ilustra a composição molar média do gás natural distribuído pela Companhia Paranaense de Gás – Compagás.

Composição do Gás Natural	
Metano	89,11%
Etano	5,87%
Propano	1,86%
Butano	1,06%
Nitrogênio	0,91%
Dióxido de Carbono	1,17%
Densidade Relativa do Ar	0,634
Poder Calorífico Superior (PCS)	9560 kcal/m ³

Quadro 5: Composição química do gás natural distribuído pela Compagás.

Fonte: Compagás (2014b).

4.4 LOGÍSTICA DO GÁS NATURAL

De acordo com PETROBRÁS (2014) o GN pode ser transportado em tubulações específicas, denominadas gasodutos ou como gás natural liquefeito (GNL), sendo esta, mais cara em relação ao gasoduto por requerer a instalação de uma planta de liquefação, tornando possível que um m³ de GNL chegue a comportar até 600 m³ de GN.

Cerca de 75% do GN comercializado é transportado por gasoduto, enquanto 25% é realizado por navios na forma de GNL. O GNL somente é utilizado quando se torna viável frente ao gasoduto, ou seja, quando a distância do transporte é superior a 6000 quilômetros por terra ou 3000 quilômetros pelo mar devido a tecnologia de gasodutos ainda não é apropriada para águas profundas. É comum que países que apresentem o inverno mais rigoroso armazenem o GNL para atender picos de demanda na rede de distribuição de gás (PETROBRÁS, 2014).

As fontes de oferta de gás natural consideradas pelo MME (2013) foram classificadas em:

- (I) Gás natural de produção nacional;
- (II) Gás natural importado através do Gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL) e;
- (III) GNL importado através dos terminais de regaseificação.

4.4.1 Malha de gasoduto no Brasil

Segundo o MME (2013), até o mês de dezembro de 2012, o Brasil contava com 9489,5 quilômetros de gasodutos distribuídos por todas as regiões no país de acordo com a figura 16 sendo gerenciados por três operadores de transporte:

- Transportadora Sulbrasileira de Gás (TSB): Operando estado do Rio Grande do Sul o gasoduto Uruguaiana-Porto Alegre, cujos trechos em operação atualmente compreendem o gasoduto que vai de Porto Alegre ao polo petroquímico de Triunfo e o trecho que vem da divisa com a Argentina até a cidade de Uruguaiana.
- A Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil (TBG): Opera o GASBOL, como se pode depreender do próprio nome da companhia.
- O restante da malha brasileira integrada, que consiste de parte da malha Sudeste, o GASENE (Gasoduto Sudeste Nordeste) e a malha do Nordeste são operados pela Transpetro.

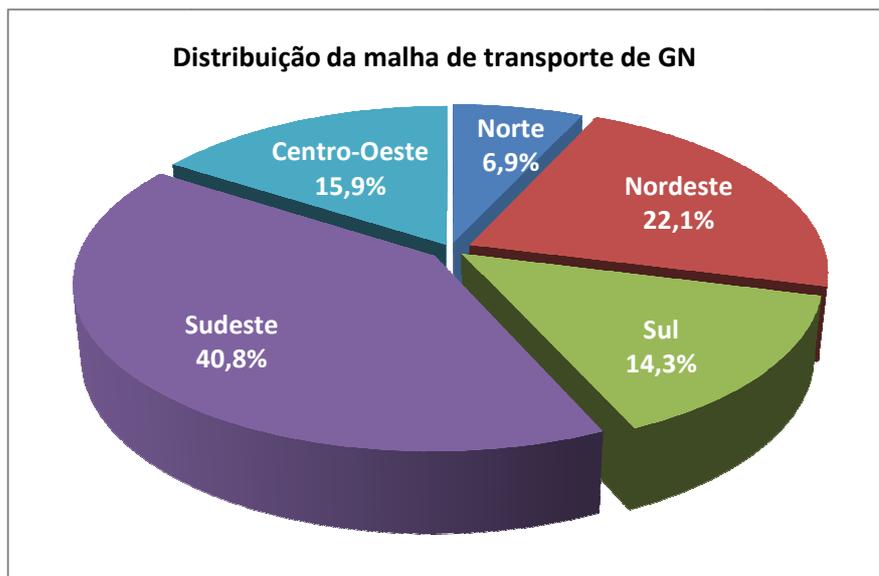


Figura 16: Distribuição da malha de transporte de GN.

Fonte: MME (2013).

Segundo Vasconcelos (2012) as redes de distribuição e transporte do GN são caracterizados por uma baixa capilaridade, evidenciando um gargalo para a indústria do gás e para potenciais consumidores brasileiros. O incentivo para realização de investimentos para realizar o fornecimento é um desafio constante, sustentado pela imagem do desenvolvimento por regiões supridas por GN.

Observa-se na figura 17 um grande vazio na região norte do país, com malhas partindo de regiões produtoras e se estendendo pela região costeira.

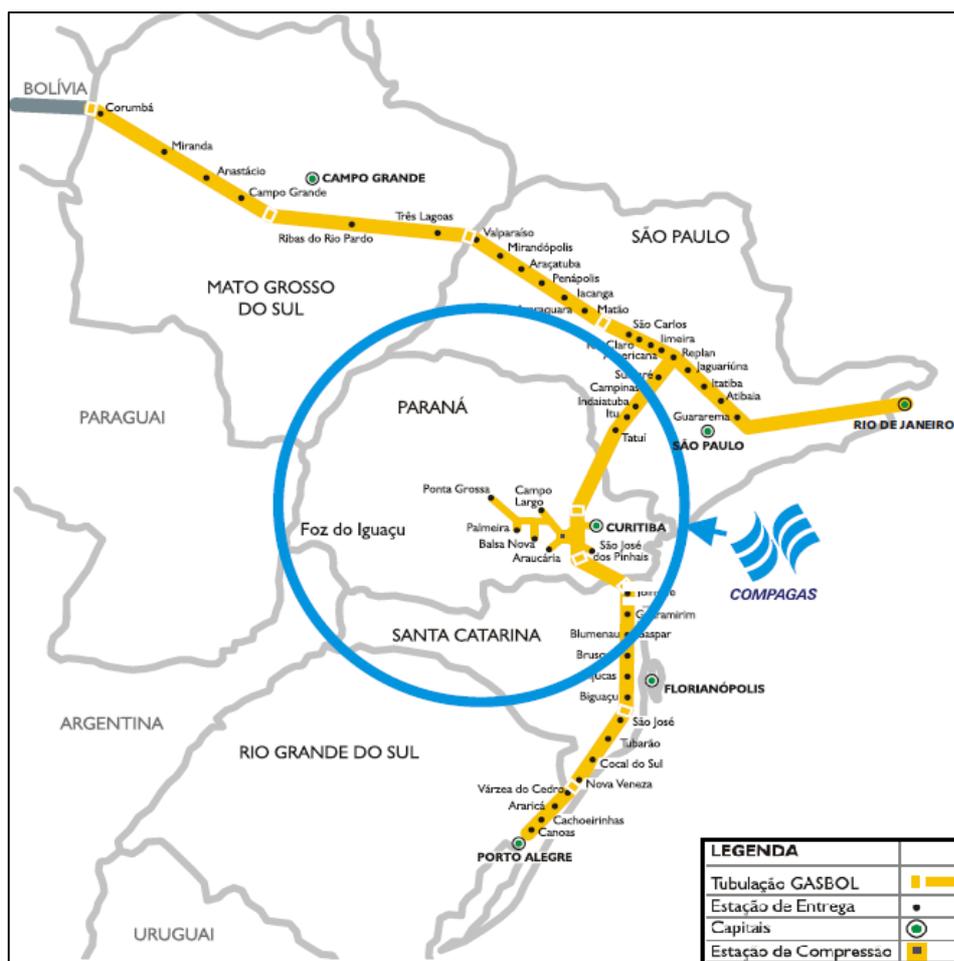


Figura 18: Percurso em território brasileiro do Gasbol.

Fonte: Compagás (2014b).

4.5 PANORAMA MUNDIAL DO GN

4.5.1. Reservas globais

No levantamento realizado pela British Petroleum – BP, as reservas mundiais provadas de GN em 2012 apresentaram volume de 187,3 trilhões de metros cúbicos, quantia suficiente para prover este combustível por 55 anos. A BP registrou a primeira queda no volume provado de reservas, sendo este valor 0,3% menor que o ano de 2011. Na figura 19 se observa o aumento de 31,7% nas reservas entre os anos de 1992 e 2002, passando de 117,6 para 154,9 trilhões de m³. As regiões detentoras das maiores reservas em 2012 continuaram sendo o Oriente Médio com 46,3% (em 1992 possuía 37,4%) e a Europa/Eurásia, com 27,1%

(em 1992 detinha 33,7%). A segunda década comparada apresentou acréscimo ligeiramente menor, 22,7%, somando 187,3 trilhões de m³ e tendo o Oriente Médio com 43% e a Europa/Eurásia com 31,2% destas reservas (BP, 2013).

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, apresentou no Anuário Estatístico de 2012 o ranking de países detentores das maiores reservas provadas de GN, o primeiro lugar foi ocupado pelo Irã, com 33,6 trilhões de m³ (18% do total global). Em seguida vieram Rússia, com 32,9 trilhões de m³ (17,6% do total), e Catar, com 25,1 trilhões de m³ (13,4% do total mundial). Estes três detentores das maiores reservas juntos somam 48,9% das reservas de GN provadas.

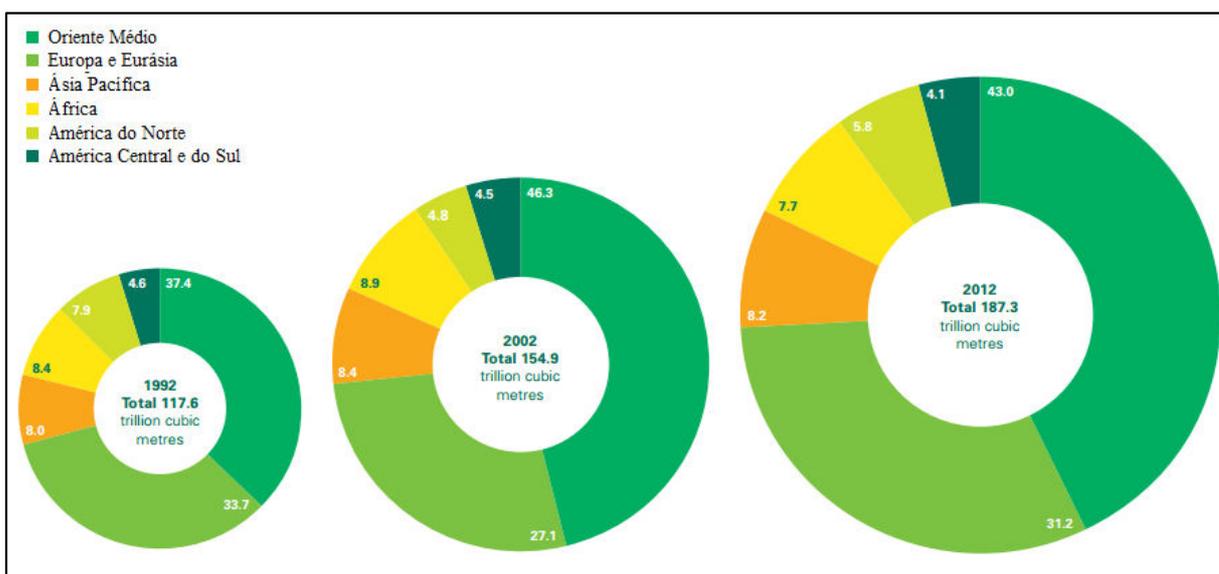


Figura 19: Evolução das reservas mundiais de GN.

Fonte: BP (2013).

4.5.2 Produção e consumo mundial

Ao comparar os volumes de produção de 2012 com a de 2002, se observa o aumento de 33,3%. O Oriente Médio foi a região que apresentou maior crescimento, passando de 0,25 trilhões de m³ em 2002 para 0,55 trilhões de m³ em 2012, um aumento de 121,8% (tabela 1).

Região	Produção				Consumo				Relação Consumo X Produção	
	2012		%		2012		%		Produção	
	Bilhões de m ³	% do Total	Varição 2011/2012	Varição 2002/2012	Bilhões de m ³	% do Total	Varição 2011/2012	Varição 2002/2012	% 2002	% 2012
América do Norte	896,4	26,8%	3,1%	17,4%	906,5	27,5%	4,0%	14,9%	103,3%	101,1%
América do Sul e Central	177,3	5,3%	3,1%	64,3%	165,1	5,0%	5,3%	62,9%	93,9%	93,1%
Europa/Eurásia	1035,4	30,7%	-0,7%	7,1%	1083,3	32,6%	-2,3%	6,1%	105,6%	104,6%
Oriente Médio	548,4	16,3%	5,4%	121,8%	411,8	12,4%	4,0%	89,2%	88,0%	75,1%
África	216,2	6,4%	2,1%	56,4%	122,8	3,7%	7,5%	76,4%	50,3%	56,8%
Ásia Pacífica	490,2	14,5%	1,1%	63,1%	625,0	18,8%	5,0%	92,7%	107,9%	127,5%
Total	3363,9	100,0%	1,9%	33,3%	3314,4	100,0%	2,2%	31,4%	99,9%	98,5%

Tabela 1: Dados globais de consumo e produção de gás natural.

Fonte: Adaptado de BP (2013).

Na América do Norte, a relação de consumo e produção evidencia o maior consumo em relação à produção, onde os Estados Unidos produziram em 2012 681,4 bilhões de m³ enquanto consumiram 722,1 bilhões de m³, cerca de 6% a mais do que produziram no ano. Na América do Sul e Central, O Brasil registrou consumo de 29,2 bilhões de m³, produzindo 17,4 bilhões de m³, sendo necessário importar 40,4% do que consome grande parte provinda do Gasbol. Trinidad & Tobago possui um cenário diferente, exportando 48,6% de sua produção de 42,2 bilhões de m³ enquanto consome apenas 21,7 bilhões de m³. Grande parte deste volume é comercializado através do gás liquefeito de petróleo – GNL (BP, 2013).

Na região da Europa/Eurásia, em 2012 a Rússia produziu de 592,3 bilhões de m³ e consumiu 416,2 bilhões de m³, exportando a diferença de 29,7% para países da Europa através da rede de gasodutos apresentada na figura 20 que corta a região. O segundo maior exportador desta região é a Noruega, que consumiu apenas 3,74% dos 114,9 bilhões de m³ que produziu, enviando a outros países da Europa via gasoduto quase a totalidade de sua produção. A Rússia foi o maior consumidor, seguido pelo Reino Unido que consumiu 78,3 bilhões de m³, menor volume desde o ano de 1995. Mesmo com o consumo substancialmente menor que o ano anterior, o Reino Unido precisou importar cerca de metade daquilo que utilizou, próximo de 48%.

O Oriente Médio, conhecido pelo desenvolvimento de suas cidades baseados na economia petrolífera, foi a região que apresentou maior crescimento em produção no período de 10 anos (2002-2012) com aumento de 121,8%. O Irã foi

o maior produtor alcançando a marca de 160,5 bilhões de m³ e ao mesmo tempo foi o consumidor, 156,1 bilhões de m³. O Catar foi o segundo país que mais produziu nesta região, 157 bilhões de m³, e apresentou o consumo de apenas 26,2 bilhões de m³, exportando 67,5% na forma de GNL, onde o maior volume, 66,5 bilhões de m³, foram enviados à da Ásia Pacífica, onde países como Japão, Índia e Coréia do Sul absorveram os maiores volumes das exportações realizadas à esta região.

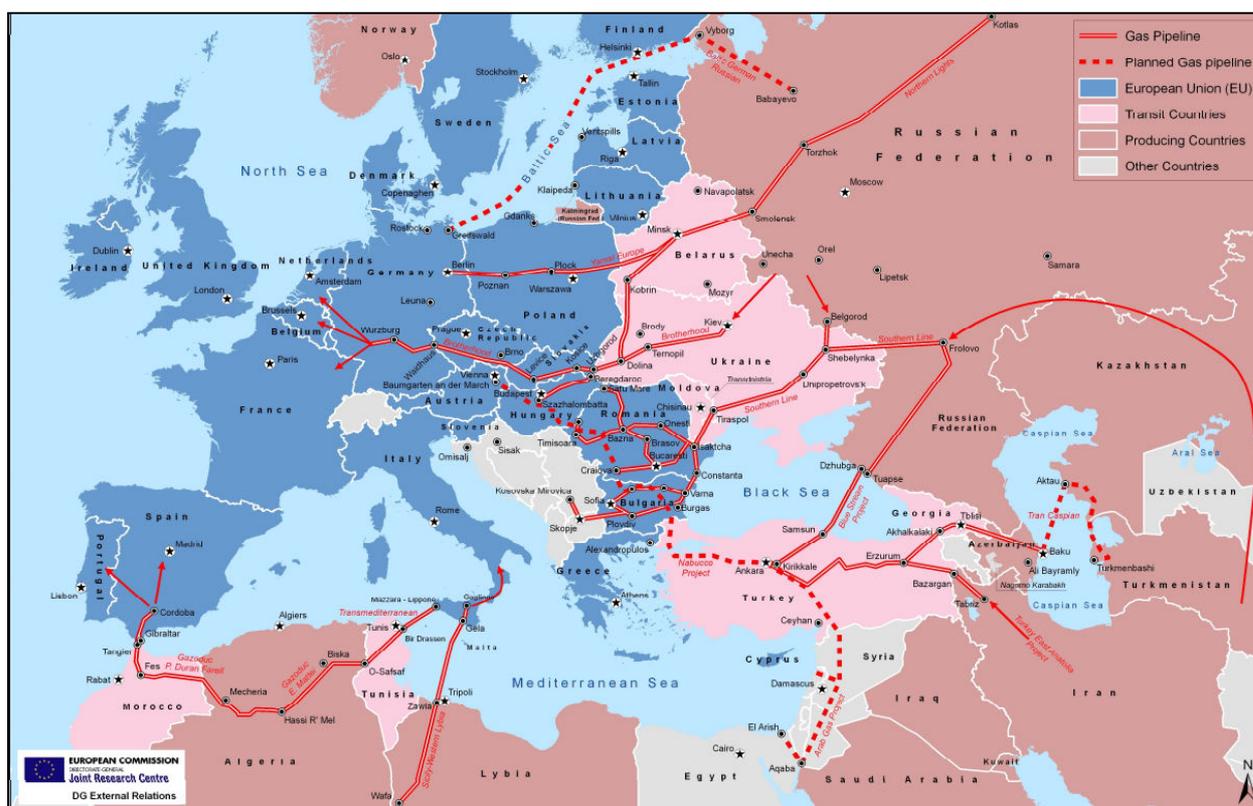


Figura 20: Principais gasodutos no Oriente Médio, norte da África , Europa e Eurásia.

Fonte: Comunidade Européia (2009).

O continente africano foi responsável por 6,4% da produção mundial de GN segundo BP (2013) o que corresponde a 216,2 bilhões de m³, enquanto consumiu 3,7% deste montante. Os principais países produtores foram a Argélia com 81,5 bilhões de m³ seguido pelo Egito, com 60,9 bilhões de m³ de produção e também o maior consumo na África, 52,6 bilhões de m³.

Na região da Ásia Pacífica, o país que apresentou maior consumo foi a China, seguido pelo Japão. O primeiro produziu 107,2 bilhões de m³, 143,8 bilhões de m³, sendo necessária a importação de 34,1% de GN no ano de 2012. O Japão

não é um país produtor de GN e importou 116,7 bilhões de m³, e o uso não somente como fonte de energia, mas o utiliza na produção de insumos químicos, como o metanol, solventes, amônia, entre outros. O transporte de GN tem utilizado as mesmas rotas do petróleo, a figura 21 ilustra as principais movimentações mundiais de GN, seja por gasoduto ou através do GNL. Na América do Sul é possível visualizar a alimentação de GN do Brasil realizado pelo Gasbol, que tem origem na Bolívia (BP, 2013; GEROSA, 2012).

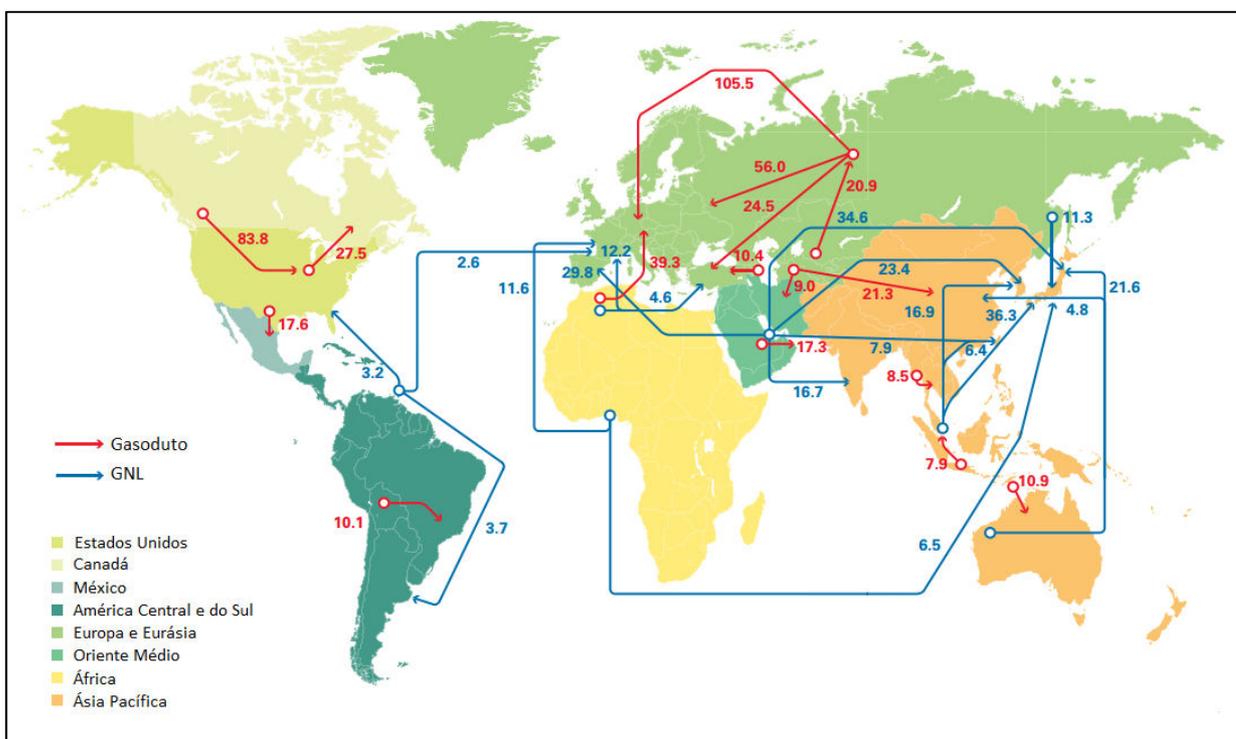


Figura 21: Principais movimentações mundiais de GN em 2012 (Bilhões de m³).

Fonte: BP (2013).

4.6 PANORAMA NACIONAL DO GÁS

4.6.1 Reservas nacionais

No início da exploração de GN no Brasil, a percepção foi a mesma de quando este teve início em outras localidades do mundo, sendo interpretado como importuno à exploração de petróleo pois requeria maior rigor quanto a

procedimentos voltados à segurança operacional onerando e dificultando a perfuração de poços.

Com o tempo, o GN foi ganhando destaque primeiramente pelo seu potencial energético, em seguida a indústria identificou no gás como insumo em diversos processos, como a produção de metanol, formaldeído, amônia, ureia, entre outros (GEROSA, 2012; GASNET, 2014).

No ano de 2012, o Brasil ficou na 31^a colocação no ranking mundial das maiores reservas provadas de gás natural com a soma de 459,2 bilhões de m³, valor equivalente a 50% das reservas totais. Assim como o petróleo, o GN possui a maioria das reservas provadas no mar, com 84,2% em reservatórios *offshore* (ANP, 2013).

Há 10 anos a proporção de reservas totais e *onshore* e *offshore* era de 50%, evoluindo para o domínio quantitativo de reservas *offshore* no anos seguintes. O mesmo comportamento pode ser observado em reservas provadas no mesmo período (figura 22).

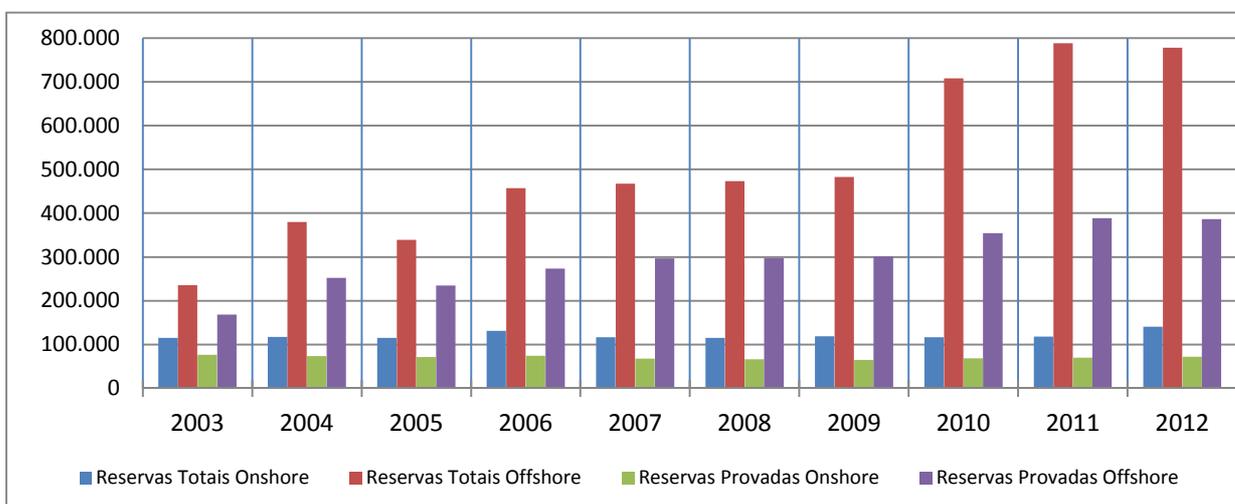


Figura 22: Evolução das reservas totais e provadas no GN no Brasil em milhões de m³.

Fonte: ANP (2013).

Ao mesmo tempo em que o uso do gás natural aumenta, as reservas serão mais utilizadas havendo a necessidade da abertura de novas reservas e exploração das mesmas. Partindo desta filosofia, segundo dados da ANP (2013) a relação

reservas/produção (R/P) de gás natural aumentou de 15,5 anos em 2003 para 17,9 anos em 2012. Este índice cresceu a uma taxa média de 1,5% no período.

4.6.2 Produção e consumo nacional

O Brasil chegou ao final de 2012 ocupando a 34ª posição no ranking mundial de produtores de gás natural. As empresas que possuem concessão de produção alcançaram o volume de 25,822 bilhões de m³ no ano de 2012, onde somente a Petrobrás gerou 90% deste volume, seguido pela empresa Queiroz Galvão, com 3,9%. A produção *offshore* foi responsável por 76,3% deste volume, e o estado com maior produção foi o Rio de Janeiro, impulsionado por um aumento de 10,2% em relação ao ano de 2011, os 10,3 bilhões de m³ representaram 40% do total nacional e 52,5% do total *offshore*. Em segundo lugar, o estado vizinho, Espírito Santo produziu 3,9 bilhões de m³, representando 15,1% da produção nacional (ANP, 2013).

O Anuário Estatístico do ano de 2012 da ANP informa que o processamento de GN é realizado por 15 polos, distribuídos nos estados do Amazonas, Ceará, Rio Grande do Norte, Alagoas, Sergipe, Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná.

As Unidades Produtoras de Gás Natural - UPGNs são responsáveis pelo processamento do GN removendo compostos indesejáveis como sulfurosos, umidade, separação das frações do GN e posterior adequação do gás seco composto para sua comercialização, principalmente pelo composto de maior proporção, o metano, de acordo com as exigências do órgão regulador. Nestas unidades são obtidos também produtos como o gás liquefeito de petróleo (GLP) composto pelas frações de butano e propano e a gasolina natural (GEROSA, 2012).

Atualmente, as UPGNs possuem capacidade nominal de 92,4 milhões de m³ ao dia. O crescimento do GN no país pode ser percebido não só na demanda, mas também no crescimento em sua produção de 39% em um período de dez anos, evidenciada na figura 23.

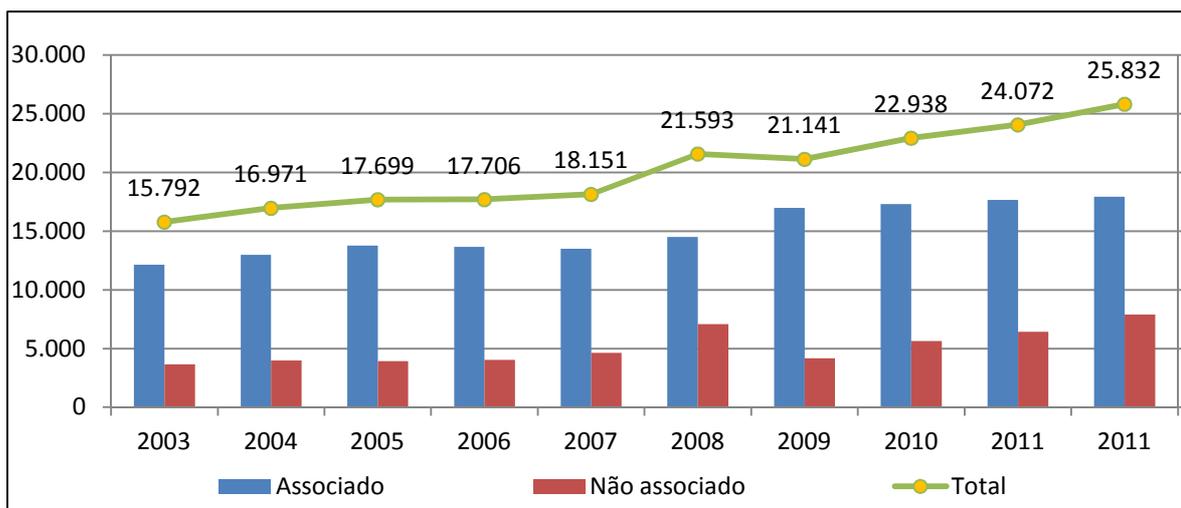


Figura 23: Evolução da produção brasileira de GN (milhões de m³).

Fonte: Adaptado de ANP (2013).

A importância que o GN tem nas operações do país é facilmente perceptível visualizando o crescimento em uso, produção nacional e em importações realizadas. Do total de 13,1 bilhões de m³ importados no ano de 2012, 10,1 bilhões de m³ (77,1%) do total foram provenientes da Bolívia, o restante correspondeu a importações de GNL do Catar, Trinidad e Tobago e Nigéria. O dispêndio com a importação de gás natural neste ano foi de US\$ 3,6 bilhões, um aumento de 23,6% em relação a 2011, com valor médio de US\$359,62/mil m³, 20,1% maior que em 2011. A importação do GNL apresentou acréscimo no dispêndio em 448%, fixando-se em US\$ 1,6 bilhão, com o valor médio de US\$ 541,49/mil m³, 25,5% maior que no ano anterior (ANP, 2013).

5 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

A redução de custos atrelada ao bem estar proporcionado ao meio ambiente tem sido uma busca cada vez mais frequente e cotidiana nas atividades industriais. Mesmo os casos onde se requer investimentos que não apresentam *pay back* mensuráveis na questão financeira, mas sim ambientais, têm sido realizados objetivando produzir com o menor impacto ambiental possível. Novas tecnologias e ferramentas surgem na forma de inovação permitindo a manutenção da competitividade e permanência de empresas no mercado sob os olhos de consumidores e interessados. Uma alternativa para que sejam alcançados benefícios no âmbito econômico e ambiental é a ferramenta denominada Produção mais Limpa (P+L).

A ferramenta P+L foi definida pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, sigla em português, ou UNEP, sigla em inglês de *United Nations Environment Programme*) no lançamento do Programa de Produção mais Limpa em 1989 (UNEP, 2006; RIBEIRO, 2002).

A Produção Mais Limpa é definida por Fernandes et al. (2001) da seguinte forma:

“a aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não-geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados em um processo produtivo. Produção Mais Limpa também pode ser chamada de Prevenção da Poluição, já que as técnicas utilizadas são basicamente as mesmas” (FERNANDES *et. al.*, 2001).

No evento da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), conhecido como ECO-92, ocorrido no Rio de Janeiro, a P+L foi definida como uma estratégia fundamental para desenvolver e avançar o conceito de desenvolvimento sustentável. Cinco anos após a Rio-92, o Protocolo de Kyoto sobre Mudanças Climáticas, um dos acordos mais abrangentes e memoráveis relacionado ao meio ambiente e o desenvolvimento sustentável que afetam todos os setores da sociedade, também incentiva fortemente a Produção Mais Limpa (UNEP, 2006).

A partir destes eventos, ora atribuídos como divisores de águas na questão ambiental, a poluição e a degradação ambiental passam a ser vistos como desperdício para as empresas, onde as mesmas começaram a dar maior foco a temas antes despercebidos, como consumo de água, energia, matérias-primas, além de despejos de resíduos no meio ambiente e emissões atmosféricas.

De acordo com SEBRAE (2004), em termos gerais, as oportunidades de execução de P+L são encontradas de forma mais evidente em áreas como eficiência de energia, redução de emissões, reciclagem ou recuperação do valor dos resíduos, minimização do uso de matéria-prima, dentre outras. As ações citadas anteriormente, em sua maioria, são mensuráveis e prestam suporte sistema de gestão ambiental na forma de indicadores.

Genericamente, as organizações tem dado mais atenção à destinação de seus resíduos, mas ainda pode ser observado o uso de técnicas denominadas 'fim de tubo', sendo esta a prática de tratar as substâncias poluidoras no fim do processo produtivo, isto é, quando todos os produtos e serviços foram feitos e os resíduos estão sendo dispostos (CNTL, 2003). O quadro 6 apresenta as maiores diferenças entre as tecnologias fim-de-tubo e a P+L.

Tecnologia de fim de tubo	Produção mais limpa
Como se podem tratar os resíduos e as emissões existentes?	De onde vêm os resíduos e as emissões?
Pretende reação.	Pretende ação.
Leva a custos adicionais.	Ajuda a reduzir custos.
Os resíduos, efluentes e as emissões são limitados através de filtros e unidades de tratamento: - soluções de fim de tubo; - tecnologia de reparo; - armazenagem de resíduos.	Prevenção da geração de resíduos, efluentes e emissões na fonte o que evita processos e materiais potencialmente tóxicos.
A proteção ambiental foi introduzida depois que os produtos e processos foram desenvolvidos.	A proteção ambiental é uma parte integrante do design do produto e da engenharia de processo.

(Continua...)

Os problemas ambientais são resolvidos a partir de um ponto de vista tecnológico.	Proteção ambiental é tarefa de todos, pois é uma inovação desenvolvida dentro da empresa e com isto reduz o consumo de material e energia.
Proteção ambiental é um assunto para especialistas competentes, que são trazidos de fora e aumentam o consumo de material e energia.	Proteção ambiental é tarefa de todos, pois é uma inovação desenvolvida dentro da empresa e com isto reduz o consumo de material e energia.
Complexidade dos processos e os riscos são aumentados.	Os riscos são reduzidos e a transparência é aumentada.
Proteção ambiental focada no cumprimento de prescrições legais. É o resultado de um paradigma de produção que data de um tempo em que os problemas ambientais ainda não eram conhecidos.	É uma abordagem que cria técnicas e tecnologias de produção para o desenvolvimento sustentável.

Quadro 6: Diferenças entre tecnologias de fim-de-tubo e produção mais limpa

Fonte: CNTL (2003b).

Nascimento (2000 apud Araújo 2002) afirma que a P+L é, antes de tudo, uma ação econômica, porque se baseia no fato de que qualquer resíduo de qualquer sistema produtivo só pode ser proveniente das matérias-primas ou insumos de produção utilizados no processo. Todos os resíduos, ontem, eram matéria-prima e foram comprados e pagos como tal.

5.1 ABORDAGEM PARA EXECUÇÃO DE AÇÕES

Ao relacionar custos à geração de resíduos que não irão agregar valor diretamente ao produto, é evidente a importância de ações a serem implementadas pelas empresas em relação à geração com eliminação ou direcionamento de resíduos, efluentes e emissões. A figura 24 evidencia a diferença entre a abordagem tradicional e a abordagem lógica e seus custos que são inversamente proporcionais à complexidade da solução para o problema.



Figura 24: Abordagens de Produção mais Limpa.

Fonte: CNTL (2003b).

Na figura 25, são apresentados os níveis de aplicações de estratégias que podem ocorrer a partir da implantação do programa de P+L. As ações de nível 1 são prioritárias pois através dela, a geração de resíduos é tratada ou parcialmente eliminada na fonte através de ajustes no processo de produção ou modificações na realização do produto com o objetivo principal de evitar a geração de resíduos, efluentes e emissões. Outra tratativa preconizada pela produção mais limpa localizada no nível 2 estabelece que os resíduos que não podem ser evitados no processo produtivo, devem preferencialmente, ser reintegrados ao processo da empresa. Somente quando impossibilitadas as tratativas dos níveis anteriores, é que a empresa optará por medidas de reciclagem externa (fora da empresa, realizada por terceiros) ou de reintegração ao ciclo biogênico como compostagem (CNTL, 2003b).

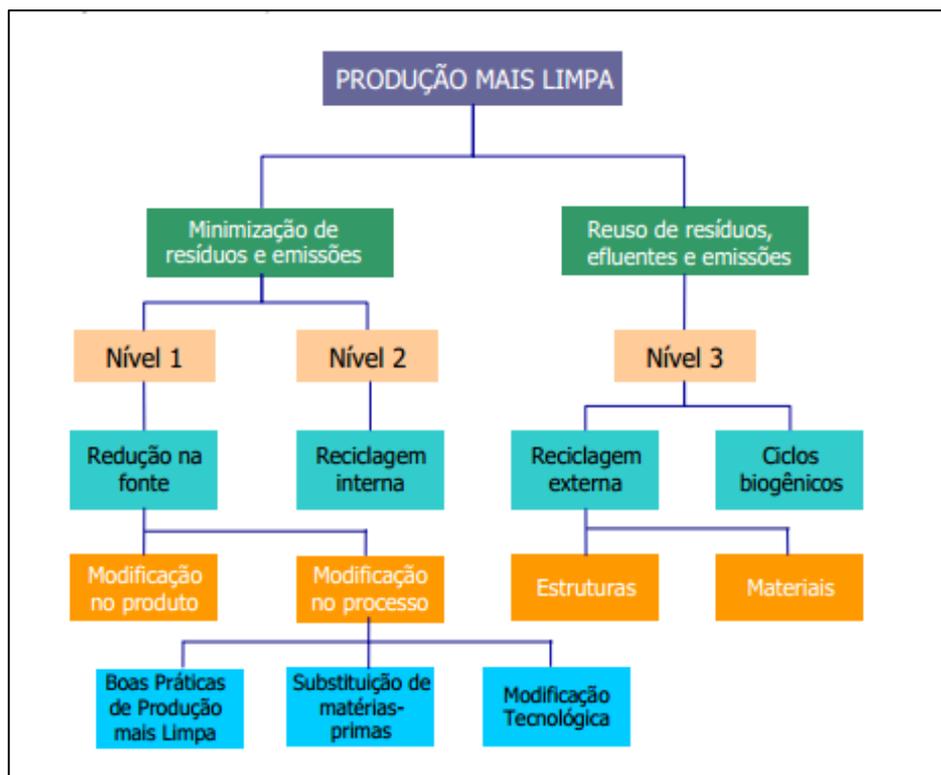


Figura 25: Níveis de aplicação da Produção mais Limpa.

Fonte: CNTL (2003a).

6 METODOLOGIA

A pesquisa tem como objetivo o levantamento da bibliografia relacionada ao tema proposto e descrever o uso de resíduos gerados durante o processo de fabricação de painéis de MDF para direcioná-los a uma alternativa sustentável e que não seja onerosa à empresa. As observações foram realizadas no processo de acabamento do painel, setor responsável pela geração destes resíduos, e em dados técnicos relativos aos equipamentos presentes no processo em geral.

Do ponto de vista da forma como o problema é abordado, é quantitativa quando os dados de consumo e propriedades dos combustíveis são cruzados no levantamento e ao mesmo tempo é qualitativa quando a abordagem do problema se estabelece uma relação com o programa de Produção Mais Limpa (P+L) ao processo de fabricação do painel de MDF.

A pesquisa, do ponto de vista de seus objetivos, é descritiva, tendo como alvo a coleta de dados para posterior análise e relacionamento com outras questões, como por exemplo, aquelas atreladas à sustentabilidade da empresa e do processo em questão.

É de natureza aplicada, demonstrando uma prática de destinação de resíduos, apresentando utilidade do ponto de vista econômico e ambiental, adaptando um método diferente em relação ao combustível tradicional para geração de energia.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, é um estudo de caso, ocorrendo após o levantamento de dados e observações especificamente na área do tratamento dos resíduos da lixadeira para posterior geração de energia.

O estudo foi realizado com base na produção de painéis de MDF de uma indústria em território nacional, que possui um sistema de produção muito similar às demais plantas instaladas em outros países. A produção anual é estimada em torno de 300 mil m³.

7 RESÍDUOS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO MDF

O potencial do material gerado pela lixadeira e corte dos painéis foi analisado buscando o seu reaproveitamento ou reuso. Alternativas teoricamente viáveis foram analisadas, sendo aplicada aquela mais viável no que tange nos aspectos econômicos e ambientais.

No acabamento realizado no painel de MDF, são gerados como o pó, devido ao atrito das lixas ao padronizar a espessura e textura e também é gerado tiras que são removidas na etapa de corte, que padroniza dimensões e divisão do painel máster em três painéis com a dimensão praticada no mercado de painéis.

6.1 ALTERNATIVAS PARA DESTINAÇÃO

Smith (2004) cita o estudo realizado pela CPA (*Composite Panel Association*) em 2002 nos EUA e Canadá, onde foi realizado um levantamento da geração dos resíduos na fabricação de painéis de madeira reconstituída e sua destinação pela indústria. No estudo, foram incluídas plantas que fabricavam MDF, aglomerado (MDP) e chapa dura (chapa de fibra). Não fizeram parte do estudo os painéis de OSB e compensado.

Mais de um terço do resíduo gerado no levantamento está na forma de pó, um excelente combustível. Embora muitas plantas o utilizem para este fim, há outras que têm restrição em fazê-lo devido à emissão de particulados e óxido de nitrogênio. Devido a estas restrições, cerca de 65% do pó é consumido como combustível, e o restante é reinserido nos painéis. Menos de 10% do pó é transportado para fora das plantas devido à dificuldade em seu manuseio. A seguir, a figura 26 mostra a distribuição no uso de resíduos em plantas de painéis de madeira reconstituída ou de chapas de composição. Nesta figura, incluem desde o pó gerado no lixamento até resíduos de varrição, chapas que apresentam alguma não conformidade e não podem ser direcionadas ao cliente, dentre outros resíduos relacionados à madeira.

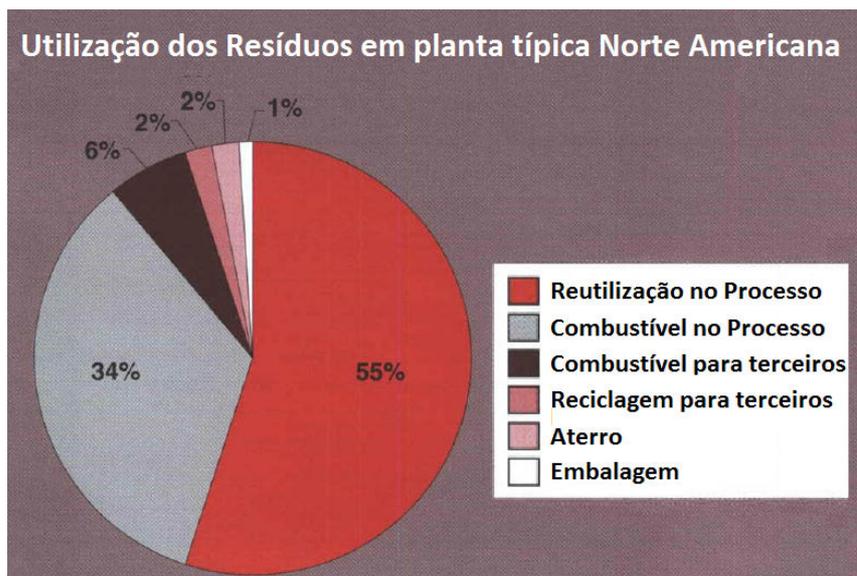


Figura 26: Utilização dos resíduos em planta típica Norte Americana

Fonte: Smith (2004).

Pescador (2008) realizou um levantamento de resíduos gerados no setor madeireiro e utilizando conceitos da P+L, apresentou formas de utilização destes. O quadro 7 apresenta os resíduos gerados durante o beneficiamento da atividade de acordo com o ramo da indústria. Resíduos industriais dispostos no quadro 7 apresentam Na análise pertinente a painéis de fibras, os resíduos apresentados foram os rejeitos de cavacos e de fibras, não sendo contemplado o volume gerado na operação de lixamento e acabamento. De acordo com a autora, as principais formas de destinação incluem a geração de energia, compostagem, camas em aviários, painéis de cimento-madeira (unindo características do cimento e da madeira).

Tipo de Indústria	Resíduos Gerados
Indústrias de Celulose	Casca (Quando retirada na indústria), rejeitos de cavacos, lignina do licor de processos químicos, toras defeituosas.

(Continua...)

Painéis compensados	Rolo Resto, lâminas defeituosas, restos de esquadrejamento de lâminas e painéis, costaneiras (em faqueados), toras defeituosas.
Painéis Aglomerados	Rejeitos de Cavacos, partículas mal dimensionadas
Painéis de fibras	Rejeitos de cavacos, rejeitos de fibras
Serrarias	Toras defeituosas, costaneiras, aparas, refilos, destopos, peças empenadas, peças manchadas, serragem, maravalha.

Quadro 7: Resíduos industriais gerados em indústrias madeireiras.

Fonte: Adaptado de ROCHA; KLITZKE (1998 apud PESCADOR, 2008).

6.1.1 Compostagem

Uma possível destinação seria a compostagem, que consiste na decomposição aeróbica da matéria orgânica através de microrganismos, reciclando elementos na forma de fertilizante e adubo. A decomposição ocorre em um ambiente com características físicas e químicas ideais.

Para a reciclagem de resíduos de painel de madeira através da compostagem, alguns aspectos devem ser observados, como a demanda por uma área onde os resíduos seriam decompostos. O composto resultante deste processo poderia ser direcionado às florestas que abastecem a linha de produção de painéis, mas para isto, deve ser realizado investimentos em transporte e maquinários para a distribuição deste composto, bem como recursos humanos para realizar a gestão e a movimentação deste composto, além de licenças para tal.

6.1.2 Reintrodução no processo de painéis de madeira

A reinserção deste material em forma de pó em varetas (recebendo moagem do material particulado de maior dimensão) poderia aumentar o volume de produção de painéis e auxiliando na manutenção da densidade. No painel de MDF este direcionamento torna-se inviável devido ao material lixado (fibras com resina) já ter sua cura praticamente terminada. Ao inseri-lo no processo, ao ser novamente

prensado, observa-se o aumento da instabilidade da operação na prensa contínua, como aumento no índice de descarte por painéis soprados.

6.1.3. Geração de energia

Atualmente, inúmeras caldeiras utilizam a madeira na forma de cavacos como combustível devido a sua disponibilidade e custo atrativo. Para a indústria de MDF, os cavacos ou resíduos de madeira são matéria-prima para a fabricação destes painéis, não sendo uma alternativa interessante seu uso para a geração de vapor e calor.

Uma característica positiva do pó gerado no lixamento e arestas do corte frente aos resíduos de madeira (cavacos) utilizados como combustível é o seu baixo teor de umidade.

6.2 USINA DE PÓ

Este trabalho demonstra o uso dos resíduos do lixamento e corte como combustível na caldeira em uma planta que fabrica painéis de MDF. Com este direcionamento, os resíduos recebem destino dentro da planta e substituem parcialmente o combustível fóssil utilizado na queima e o uso de outros resíduos de madeira como serragem e maravalha adquiridos de serrarias da região.

A caldeira é capaz de utilizar os resíduos graças ao queimador multi combustível, ou seja, pode ser alimentada por pó de madeira e gás natural ou alternando estes dois combustíveis. Uma recomendação para este tipo de queimador é referente ao uso consorciado de gás natural quando ocorre a queima de pó de madeira para que haja manutenção da chama devido ao maior poder de combustão do gás.

Para utilizar os resíduos como combustível, o material é previamente triturado após o lixamento no próprio setor que realiza o corte. O corte do painel máster visa obter o tamanho de painel especificado pela empresa. Para que isto

ocorra, o primeiro corte ocorre no sentido longitudinal do painel com serras trituradoras e em seguida por serras transversais que realizam o corte do painel máster gerando três painéis com esquadrejamento e dimensões de mercado.

A serra trituradora (figura 27) é uma serra circular que possui segmentos de serra em sua lateral que formam um ângulo em relação à serra que corta os painéis, ou seja, a posição destes segmentos de serra não é paralelo à serra que atua nos painéis. O filete resultante deste corte recebe imediatamente a compressão e corte não regular, gerando pequenos pedaços do painel de MDF que são aspirados juntamente com o pó.

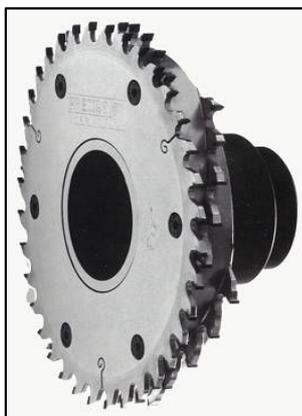


Figura 27: Serra circular com triturador acoplado.

Fonte: Preziss (2014).

A próxima serra realiza o corte transversal do painel máster. Esta operação gera pó que é aspirado para a usina de pó. Nas bordas do painel, são geradas varetas, que conduzidas através de uma esteira alimentam um picador a tambor para diminuir o tamanho das mesmas. As varetas trituradas e o pó são aspirados para a usina de pó. As operações com as serras ilustradas na figura 28 sucedem o lixamento do painel, que em geral removem de 0,6 a 0,9mm das faces de cada painel.

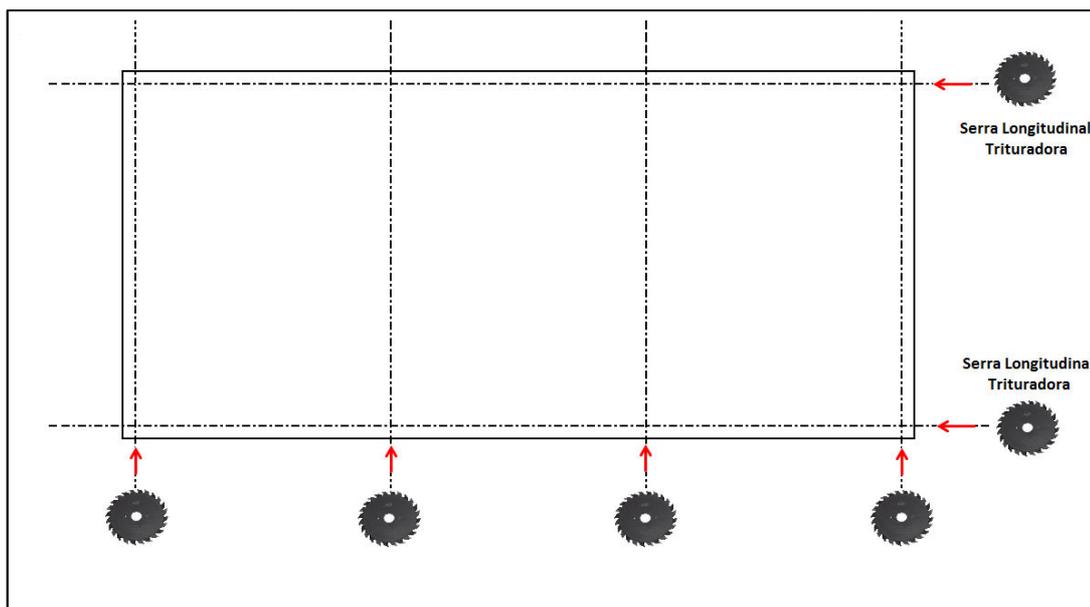


Figura 28: Cortes e esquadrejamento realizado no painel máster de MDF.

Fonte: O autor.

O material da lixadeira juntamente com o pó aspirado da serra diagonal na saída da prensa segue para a Usina de Pó para ser processado. O pó gerado no lixamento é conduzido exclusivamente por uma tubulação aspirada diretamente para um filtro que realiza a aglutinação deste pó ficando presos a elementos filtrantes que sofrem um disparo de ar comprimido dentro de cada uma das 250 mangas que o compõe. A condução do pó que se desprende das mangas é realizada por um sistema de pás que empurram o pó para válvulas rotativas que alimentam a tubulação onde um soprador atua conduzindo o material combustível para o silo de pó.

As varetas e aparas trituradas na etapa de corte são aspiradas até um separador ciclônico, direcionando o pó (mais leve) para uma tubulação dotada de um soprador que por sua vez conduzirá este ao silo de pó. O material mais denso é separado por gravidade no ciclone e segue para a uma peneira vibratória onde o residual de pó segue para o mesmo soprador que conduz pó para o silo de pó. O material particulado é então triturado em um moinho, composto por pás, que ao rotacionarem comprimem as partículas contra uma peneira que as envolve resultando em pó que segue para o armazenamento no silo de pó (figura 29).

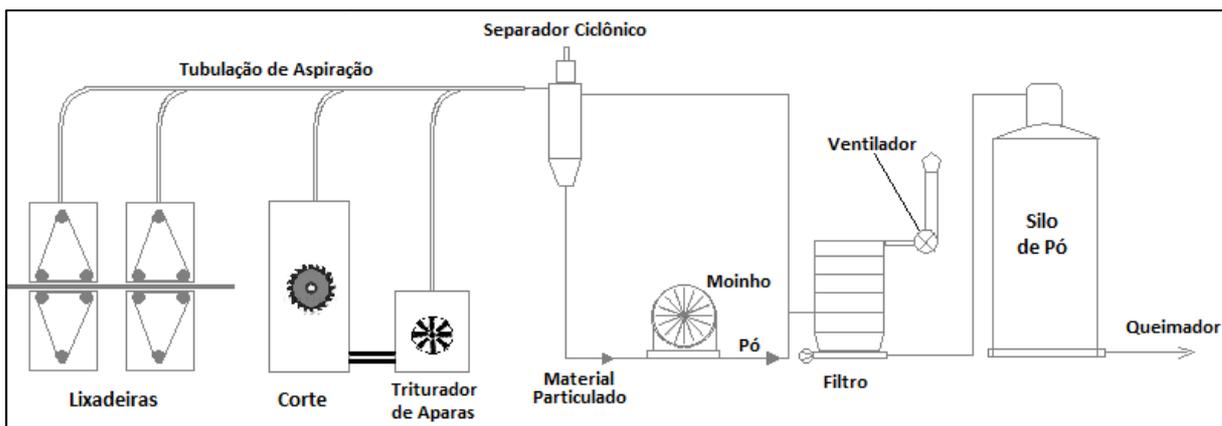


Figura 29: Etapas de processamento de resíduos da lixadeira na Usina de Pó.

Fonte: O autor.

A serragem e/ou maravalha adquirido de terceiros é direcionado à Usina de Pó sendo alimentado através de pá carregadeira para uma cuba cônica que possui uma rosca responsável por conduzir o material para uma tubulação, onde atua um soprador que conduz este material até um ciclone que descarrega em uma peneira vibratória separando o material de menor granulometria que é conduzido por um soprador para o silo de pó. As partículas maiores que a peneira segrega chegam ao moinho através de uma rosca sem fim. O material que atravessa a peneira possui granulometria compatível com o pó, sendo conduzidas pelo soprador até o silo de pó, conforme figura 30.

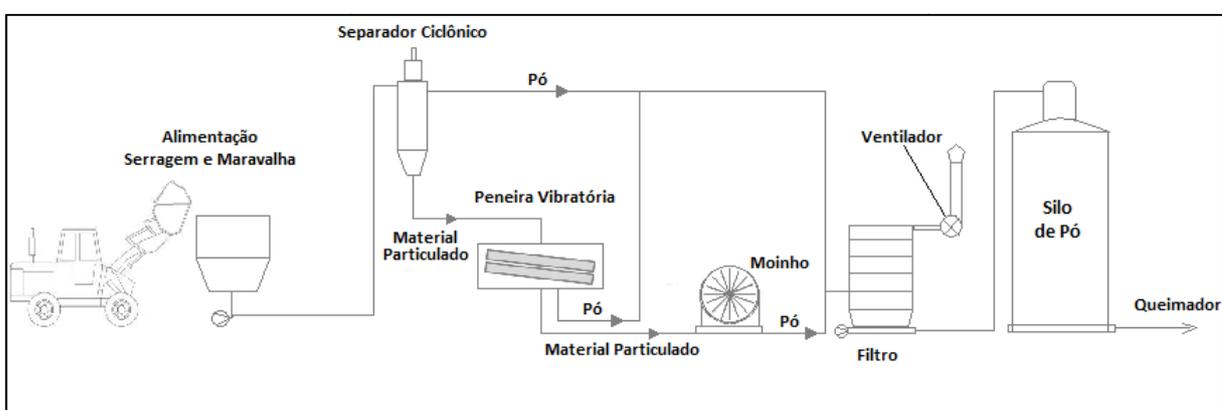


Figura 30: Etapas de processamento na Usina de Pó para material de terceiros.

Fonte: O autor.

Antes de ser utilizado como combustível, o material que chegava à Usina de Pó era descartado em um *bunker*, sendo armazenado até que uma empresa especializada retirasse este material da planta. O *bunker* quando não utilizado para armazenamento de material para o fim de descarte atua quando há gargalos como em casos onde o silo de pó eventualmente está cheio e a planta térmica não esteja operante ou em diversas outras detenções interferentes diretamente neste fluxo.

6.2.1 Características do Pó

Devido ao processamento térmico que o MDF sofreu no secador, no filtro à vento (*sifter*) e prensa contínua, sua umidade se apresenta baixa, influenciando no poder calorífico. Amostras coletadas do pó de aspiração do lixamento do painel e do silo de pó, composto por cerca de 30% de serragem de fornecedores e 70% de material do corte e lixamento do painel foram analisados em laboratório especializado, obtendo os valores do quadro 8.

Parâmetro	Pó de aspiração lixamento	Silo de Pó
Umidade Base Seca (%)	7,0%	5,5%
Materiais voláteis (%)	78%	75%
Carbono Fixo	21,5%	20%
Cinzas (%)	0,6%	4,3%
Poder Calorífico Inferior (Kcal/kg)	4250 kcal. /kg.	4150 kcal. /kg.

Quadro 8: Características do pó

Fonte: O autor.

6.2.2. Riscos na operação com o pó de madeira

Um dos principais riscos em na indústria madeireira está relacionado a incêndios e explosões. O início de sinistros é normalmente gerado por uma faísca que pode surgir de uma ferramenta mal afiada, um exaustor com problemas mecânicos, um motor superaquecido, faíscas geradas por eletricidade estática, corpos estranhos misturados ao material que está sendo transportado, máquinas ou componentes com problemas na linha de produção e processos que geram fricção. (GRECON, 2014).

A Usina de Pó em sua operação envolve principalmente a eletricidade estática e corpos estranhos misturados ao pó, principalmente quando se trata da alimentação de material adquirido por fornecedores. Para assegurar a minimização dos riscos, faz-se o uso de equipamentos de prevenção. Na Usina de Pó do presente trabalho, são utilizados sistemas de detecção e extinção de faíscas da GreCon, atuando em transportes de pó com detectores de faísca, que ao detectá-las emitem um sinal ao controle de processo e automaticamente acionam os bicos extintores localizados estrategicamente posteriormente em relação a estes sensores, injetando uma névoa de água pressurizada no duto após a área de detecção conforme figura 31 (GRECON, 2014).



Figura 31: Sistema de detecção e extinção de faíscas – GreCon.

Fonte: GRECON (2014).

6.2.3. Necessidade energética na planta térmica

O aquecimento do óleo térmico no processo do estudo é realizado em uma planta independente alimentada pelas cascas do pinus processado. O ar utilizado no secador e o vapor são gerados em uma segunda planta térmica, que possui um queimador multi combustíveis, podendo ser alimentado por GN, pó de madeira ou ambos em alternância ou consorciados.

O requerimento energético nesta planta é de 21,4 gcal/h (gigacalorias por hora), sendo 11,4Gcal/h para gerar o ar para o secador e 10,0 Gcal/h para a geração de vapor para a planta.

O balanço energético utilizando serragem e/ou maravalha, resíduos da lixadeira e GN é composto por uma pequena porcentagem de GN, estipulada em 5% para que haja maior estabilidade na chama, atuando na prevenção da extinção da mesma. Este valor (5%) também compreende momentos onde a planta térmica opera somente com pó e em partidas de linha, onde maior volume de gás é necessário. O uso de todo material gerado pelas lixadeiras e corte do painel é de cerca de 3490 kg/h, garantindo cerca de 69% da necessidade energética, sendo os

26% restantes complementados com o serragem e maravalha adquirido de fornecedores.

6.3 CUSTOS DOS COMBUSTÍVEIS

O preço do metro cúbico do gás natural distribuído no estado do Paraná varia de acordo com o volume diário consumido. Para realizar o cálculo do custo diário deste combustível, foi utilizado o quadro 09 disponibilizado pela Companhia Paranaense de Gás – COMPAGÁS.

Volume m ³ /dia		Preço do Gás	
De	Até	Sem Imposto	Com Imposto
0	500	1,5781	2,0040
500	1.000	1,3258	1,6836
1.000	2.000	1,1362	1,4429
2.000	4.000	1,1053	1,4035
4.000	8.000	1,0990	1,3955
8.000	16.000	1,0973	1,3934
16.000	32.000	1,0954	1,3909
32.000	64.000	1,0930	1,3879
64.000	9.999.999	1,0928	1,3877

Quadro 9: Tabela de Preços do gás industrial

Fonte: Compagás (2014c).

Custo dos combustíveis serragem/maravalha, resíduos da lixadeira e GN compoem o balanço energético proposto.

Custo GN a 5% na matriz energética

Vol (Nm³/h) = 5% da necessidade energética / Poder calorífico do GN (kcal/Nm³).

$$\text{Vol (Nm}^3\text{/h)} = 1,07\text{Gcal/h} / 9400\text{kcal/Nm}^3 = \mathbf{113,9 \text{ Nm}^3\text{/h}}$$

$$\text{Custo R\$/24 horas} = \text{Vol (Nm}^3\text{/h)} \times \text{R\$/Nm}^3 \times 24\text{h.}$$

$$113,9 \text{ Nm}^3\text{/h} \times \text{R\$1,579} \times 24\text{h.}$$

Custo R\$/24 horas = **R\$ 4.316,3**

Custo de serragem a 26% na matriz energética

Massa (t./h) = 26% da necessidade energética / Poder calorífico da serragem (kcal/kg)

Massa (t./h) = 5,564 Gcal/h / 3500 kcal/kg = **1.590 kg./h**

Custo R\$/24 horas = Massa (t./h) x R\$/t. x 24h.

1,59 t./h x R\$90,0 x 24h.

Custo R\$/24 horas = **R\$ 3.435,0**

O custo de aquisição do material gerado pela lixadeira e corte não foi contabilizado, pois é tratado como resíduo. Os gastos envolvendo este material são relacionados à manutenção preventiva anual na Usina de Pó ou em manutenções corretivas geralmente ocorridas no moinho. A massa de 3490 kg/h corresponde a 69% na matriz energética.

Potencial energia gerada = Massa (kg./h) x Poder calorífico do resíduo (kcal/kg):

= 3490 kg./h x 4250 kcal/kg.

= 14,833 Gcal/h ~ 69% de 21,4 Gcal/h.

O conjunto de combustíveis utilizados acima evita o alto custo ao alimentar apenas com o GN na planta térmica.

Custo do gás natural quando a caldeira é alimentada somente com este combustível (24 horas):

Vol (Nm³/h) = Necessidade energética / Poder calorífico do GN

$$\text{Vol (Nm}^3\text{/h)} = 21,4\text{Gcal/h} / 9400\text{kcal/h} = 2277\text{m}^3\text{/h}$$

$$\text{Custo R\$/24 horas} = \text{Vol (Nm}^3\text{/h)} \times \text{R\$/Nm}^3 \times 24\text{h.}$$

$$2277\text{Nm}^3\text{/h} \times \text{R\$1,4001} \times 24\text{h.}$$

$$\text{Custo R\$/24 horas} = \mathbf{R\$76.512,7}$$

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O gás natural indiscutivelmente é uma ótima fonte de energia para a indústria. Os principais atributos que garantem os pontos positivos incluem a queima limpa (isenta de material particulado), o alto poder calorífico, a baixa interação direta de mão de obra em seu manuseio, devido à distribuição através de tubulação a partir do Gasbol, caracterizam a praticidade no seu uso. O demérito evidenciado para a operação de sua queima na caldeira foi o fator custo, com o valor de R\$ 76.512,70 a cada 24 horas de operação. .

As questões referentes a oferta de GN no mercado devem ser incluídas no planejamento a longo prazo, uma vez que o país importa cerca de 40% do que consome e as reservas provadas no Brasil apresentaram ao final de 2012 a relação entre as reservas provadas e a produção em 17,9 anos. Uma característica relacionada à maioria dos países detentores das maiores reservas de gás natural e petróleo é a instabilidade e tensão relacionadas a religião, política e cultura, que aumentam a flutuação da cotação e a garantia de oferta destes combustíveis a países consumidores. Um exemplo desta instabilidade foi a nacionalização das atividades relacionadas à exploração de gás natural e petróleo na Bolívia, fornecedor brasileiro de GN ocorrido em 2006, fator que interferiu diretamente em sua produção e distribuição.

Na questão ambiental, Piekarski (2013) ao realizar a avaliação do ciclo de vida do painel de MDF propôs que o uso de combustível renovável ao invés do gás

natural pode contribuir para a redução de impactos ambientais potenciais como o potencial de aquecimento global, diminuindo significativamente a dependência de combustível fóssil, de origem-não renovável.

Em geral, resíduos de madeira recebem como destino a pirólise, muitas vezes, realizada de forma incorreta, a céu aberto. Em menor escala, há outras formas de reciclar estes resíduos do processamento de madeira, como a compostagem, cama de aviários, paisagismo. Baseado na P+L (figura 35), o resíduo gerado pelas lixadeiras e corte se enquadra nos níveis 1 e 2. É enquadrado no nível 1 devido a redução do combustível fóssil (gás natural) ao substituí-lo parcialmente por combustíveis renováveis, provindos de madeira ao inserir uma operação de processamento destes para sua utilização na queima. No nível 2 a evidência da reciclagem interna ao direcionar estes resíduos a uma etapa anterior, na secagem de fibras com ar quente e a concessão de vapor utilizado no cozimento dos cavacos. Ainda dentro da P+L, em paralelo com a minimização de resíduos e emissões, fica também caracterizado o reuso de resíduos, sendo estes direcionados novamente ao ciclo de produção na forma de energia. A configuração de 5% de GN, mais o resíduo da lixadeira e corte em sua totalidade (compondo 69% da necessidade energética) somado à resíduos como serragem comprados de madeireiras para complementar esta necessidade energética apresenta um custo mais baixo em relação a operação na planta termica utilizando apenas o GN. O custo ficou estabelecido em R\$ 7.751,13 a cada 24 horas de produção, cerca de 10% se comparado a operação com 100% de GN.

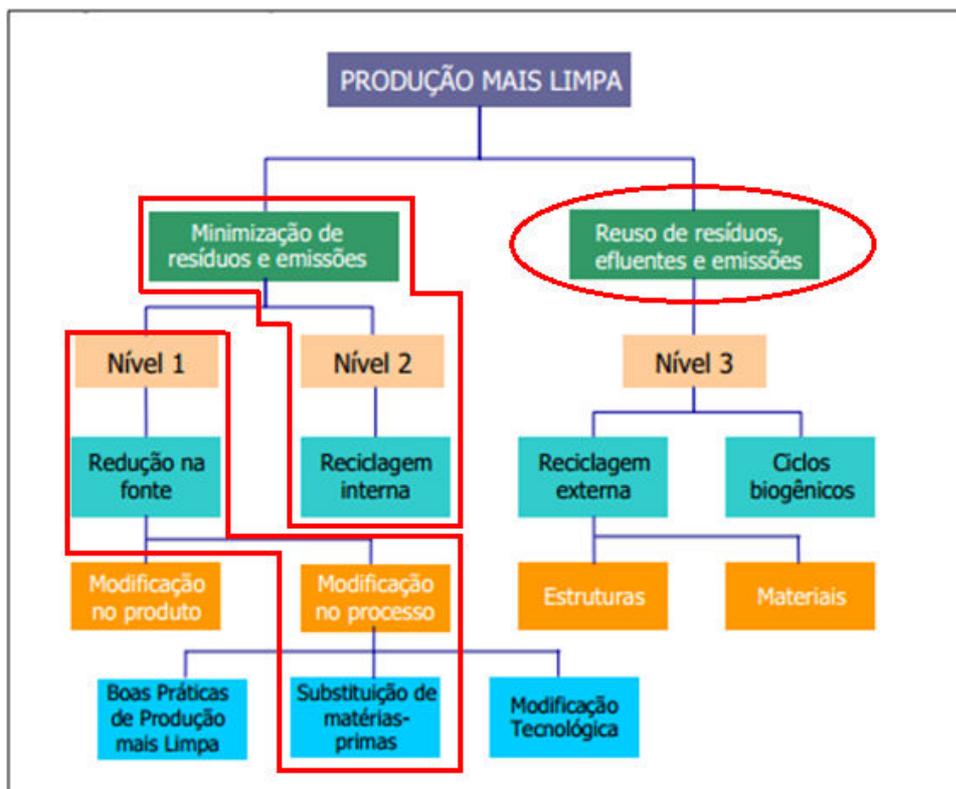


Figura 32: Níveis de aplicação da Produção mais Limpas.

Fonte: Adaptado de CNTL (2003a).

A demanda de energia foi atendida satisfatoriamente com a combinação de GN e resíduos de MDF. Tal medida combinada com o uso de resíduos (serragem e maravalha) gerados por serrarias permite o uso de 5% de GN na caldeira, para melhorando a estabilidade na queima, ajudando a prevenir que a mesma se apague em caso de falhas na linha pneumática que carrega o pó aos bicos no queimador. A inviabilidade econômica ao subsidiar a caldeira apenas com o GN influencia diretamente no custo do metro cúbico de MDF produzido, devendo tal medida ser utilizada em períodos curtos, em 'emergências' como manutenções na Usina de Pó.

Na análise do material do silo, composto por 30% de material comprado de fornecedores, se observou o aumento de cinzas em relação à análise apenas do pó aspirado na etapa de lixamento. Devido ao poder calorífico ser afetado diretamente pela umidade e cinzas, o material adquirido de terceiros para alimentação em paralelo na Usina de Pó deve ser analisado criticamente. Devido a comercialização ser realizada com base no peso das cargas que chegam à indústria, o controle de

qualidade deste material deve atuar prevenindo a má fé de fornecedores que utilizam artifícios para aumentar a massa como a inserção de materiais inorgânicos (areia) e através do aumento da umidade molhando a carga. A umidade pode ser realizada em equipamentos de infravermelho validados para fornecer dados com precisão em poucos minutos. A quantificação de materiais inorgânicos pode ser realizada através da análise de sílica, evitando que estes materiais indesejados formem incrustações no queimador da caldeira diminuindo sua eficiência. Os controles básicos citados anteriormente representam economia na aquisição de insumos e na manutenção, desempenho e disponibilidade de equipamentos.

O queimador multicomcombustíveis da planta térmica flamotubular do estudo não possui grelhas, usualmente instaladas quando o objetivo é utilizar combustíveis sólidos. Este fato, somado aos índices elevados de sílica no material de fornecedores gera um acúmulo de material inorgânico no queimador, dificultando o fluxo do ar quente e gerando a perda de combustível, seja sólido ou gás, pois o ponto alto da queima ocorre exatamente na região onde se encontra este material, obstruindo e absorvendo uma parte do calor gerado. Além da diminuição do desempenho da planta térmica, há também o aumento do consumo de combustível para suprir esta perda e influencia na manutenção programada, demandando maiores custo e tempo para retirar este material aderido ao refratário da planta térmica (figura 36).



Figura 33: Material aderido ao queimador da planta térmica, retirado com auxílio de britadeira.

Fonte: O autor

A economia em combustíveis e materiais necessários para o processo de manufatura em associação com o planejamento sustentável exercem grande peso no orçamento de empresas, influenciando em sua competitividade e até na sua permanência e existência. Observa-se uma tendência crescente na análise relacionada ao aspecto ambiental não apenas pelas pessoas envolvidas diretamente com a produção de bens pela indústria madeireira, mas também pela comunidade que convive com estas empresas e pelo mercado.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15316-1: Chapas de fibras de média densidade. Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2006.

ARAÚJO, A. F. **A aplicação da Metodologia de Produção Mais Limpa**: Estudo em uma empresa da construção civil. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

ARRUDA, M.Z. **Análise de combustíveis de caldeiras**. 74f. Trabalho de Conclusão de curso. Curso de Engenharia Ambiental. Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA. 2012a. **Números**. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em: 22 Dez. 2013.

_____. 2012b. **Nossas unidades industriais**. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/industrias.php>>. Acesso em: 22 Dez. 2013.

_____. 2012c. **Nossos produtos**. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosMDF.php>>. Acesso em: 22 Dez. 2013.

BNDES SETORIAL. **Painéis de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas**. 27. ed. Rio de Janeiro, 2008. p. 121-156. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2706.pdf>. Acesso em: 21 dez 2013.

_____. **Panorama de mercado: painéis de madeira**. 32. ed. Rio de Janeiro, 2010. p. 49-90. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set32102.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2013.

_____. **O Setor de Móveis na Atualidade: Uma Análise Preliminar**. n.25 Rio de Janeiro, p. 65-106, mar. 2007. . Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2503.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2013.

BIZZO, W. A. **Geração, Distribuição e Utilização de Vapor**. Apostila de Curso, Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp, 2003.

BP - BRITISH PETROLEUM. Statistical Review of World Energy June 2013. Disponível em: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf>. Acesso em: 02-jan-2014

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2012**. 236p. Rio de Janeiro: ANP, 2013. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=69132&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1389213341569>>. Acesso em: 28-dez-2013

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Regulamento técnico 01/1998**. Disponível em <http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/folder_portarias_anp/portarias_anp_tec/1998/abril/panp%2041%20-%201998.xml>. Acesso em: 20 dez.2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Eficiência Energética no Uso de Vapor**. Eletrobrás e Procel, 2005. Rio de Janeiro. 196 p.

BRASIL – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2020**. Colaboração Empresa de Pesquisa Energética (EPE). 2011. Brasília. 343 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022**. Colaboração Empresa de Pesquisa Energética (EPE). 2013. Brasília. 410 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO - MTE. Portaria nº 23, de 27 de dezembro de 1994 - NR 13. : Manual técnico de caldeiras e vasos de pressão. – Edição comemorativa 10 anos da NR-13. – 1ª reimpressão. – Brasília. MTE, SIT, DSST, 2006.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS – CNTL. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa**. 2003a. Porto Alegre, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/ UNIDO/INEP. 42 p. il.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS – CNTL. **Questões ambientais e Produção mais Limpa**. 2003b. Porto Alegre, UNIDO, UNEP, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI. 126 p. il. (Série Manuais de Produção mais Limpa).

CHD VÁLVULAS. **Artigos técnicos: Caldeiras Aquatubulares.2014**. Disponível em: <http://www.chdvalvulas.com.br/artigos_tecnicos/caldeiras/aquatubulares.html>. Acesso em: 15 jan. 2014.

COMPANHIA DE GÁS DA BAHIA – BAHIAGAS. **O que é gás natural?** Texto *online*. Disponível em: <<http://www.bahiagas.com.br/gas-natural/o-que-e-gas-natural>>. Acesso em: 06-jan-2014.

COMPANHIA PARANAENSE DE GÁS – COMPAGÁS. 2014a. **O que é o gás natural:** Sobre o gás natural. Disponível em : <http://www.compagas.com.br/index.php/web/o_que_e_gas_natural/sobre_o_gas_natural>. Acesso em: 08 jan. 2014.

COMPANHIA PARANAENSE DE GÁS – COMPAGÁS. 2014b. **Gás natural: Manual para Estabelecimentos Comerciais**. Disponível em: <www.compagas.com.br/index.php/.../MANUAL%20COMERCIAL.pdf >. Acesso em: 08 jan. 2014.

COMPANHIA PARANAENSE DE GÁS – COMPAGÁS. 2014c. **Preços: Tabela de preços – INDUSTRIAL**. Disponível em < <http://www.compagas.com.br/agv/index.php?action=uiprecos.index&segmento=1>>. Acesso em: 10 fev. 2014.

COMUNIDADE EUROPÉIA. Mapa dos principais gasodutos, ano 2009. Disponível em: <http://ec.europa.eu/energy/international/bilateral_cooperation/russia/doc/2009_major_gas_pipelines_towards_the_european_union.pdf>. Acesso em: 06-jan-2014.

COMPOSITE PANEL ASSOCIATION. **Products: Medium Density Fiberboard**. Disponível em: <<http://www.compositepanel.org/products/medium-density-fiberboard.html/details/>>. Acesso em: 20 dez 2013.

CONFORT, M. J. F. **Estocagem geológica de gás natural e seus aspectos técnicos e regulatórios internacionais**. 139f. Dissertação (Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2006.

DURATEX. **Catálogo Técnico Painéis de Madeira**. Disponível em: <<http://www.durafloor.com.br/Upload/ImgConteudos/1437.pdf>>. Acesso em: 02-jan-2014.

EISFELD, C de L.. **Análise da competitividade entre as indústrias de painéis de madeira:** Compensado, MDF e OSB no Estado do Paraná. 83 f. Dissertação

(Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

FERNANDES, J. V. G *et al.* Introduzindo práticas de produção mais limpa em sistemas de gestão ambiental certificáveis: uma proposta prática. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 06, n. 03. p. 157-164. 2001

GASNET. **Gás Natural**. Disponível em: <http://www.gasnet.com.br/gasnatural/materia_completa.asp>. Acesso em: 10 jan. 2014.

GATTO, D. A., SANTINI, E. J., HASELEIN, C. R. e DURLO, M. A. Características da lenha produzida na região da quarta colônia de imigração italiana do rio grande do sul. **Revista Ciência Florestal**, v. 13, n. 2, p. 7-16. 2003.

GEROSA, T. M. **Desenvolvimento e aplicação de ferramenta metodológica aplicável à identificação de rotas insumo-processo-produto para a produção de combustíveis e derivados sintéticos**. 317 f. Dissertação (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Energia – EP, FEA, IEE, IF. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

GOMES, C.S.M. **Remoção de hidrocarbonetos pesados do gás natural visando o ajuste do índice de metano**. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007.

GRECON. **Sistema de detecção e extinção de faíscas**. Disponível em: <<http://www.grecon.com.br>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

INDUSATTE. **História do vapor**. Disponível em: <<http://www.indusatte.com.br/?pg=artigo&id=14&historia-do-vapor>>. Acesso em: 14 jan. 2014.

IWAKIRI, S (2005). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba. FUPEF Paraná. Ajir Gráfica e Editora Ltda. 254 p.

LOURENÇO, S. R. **Gás natural: perspectivas e utilização**. 123 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

LOURENÇO, S. R. **Gás: Uma contribuição para a inserção do gás natural como alternativa viável na matriz energética nacional.** 136 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006.

MARCOLIN, Nelson. Eco da Revolução Industrial. **Revista Pesquisa FAPESP**, n.193, p 90-91, 2012.

MORAES, S. E. G. **O mercado de gás natural no Estado de São Paulo.** 159f. Dissertação (Programa de Interunidades de Pós-Graduação em Energia) - Escola Politécnica Instituto de Eletrotécnica e Energia Faculdade de Economia e Administração Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

NAKIĆENOVIĆ, N. et al. **Global Natural Gas Perspectives.** International Gas Union and International Institute for Applied Systems Analysis. Hoersholm, Denmark. 2000. 76 p.

PETROBRAS. **Seminário sobre gás.** 2014. Disponível em: <http://sites.petrobras.com.br/minisite/premiotecnologia/pdf/TecnologiaGas_Seminario_GAS.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2014.

PHILLIPS, J. B. et al. Particulate Matter: Predicting Its Emission Rates. **Pollution Engineering Online**, July 1998. Disponível em: <www.pollutionengineering.com>. Acesso em: 20 dez. 2013.

PIEKARSKI, C. **M Proposta de melhoria do desempenho ambiental associado ao ciclo de vida da produção do painel de madeira MDF.** 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2013.

PREZISS. Herramientas PCD. Industria maderera. Disponível em <<http://www.preziss.com/imgNovetats/catalogomadera2011esp.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2014.

RIBEIRO, F. M. **A produção mais Limpa (P+L) no setor sucroalcooleiro – informações gerais.** Câmara Ambiental do Setor Sucroalcooleiro GT de P+L: mudanças tecnológicas – procedimentos. São Paulo: CETESB, 2002.

RIVELA, B.; MOREIRA, M.; FEIJOO, G. Life cycle inventory of medium density fibreboard. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Heidelberg, v. 12, n. 3, p.143-150, 2007.

SILVA, B. C. F. e SILVA, V. da. **Combustíveis e queimadores em caldeiras**. Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás Natural (PROMINP). Disciplina: Fabricação e montagem de caldeiras e trocadores de calor. Escola Politécnica, departamento de Engenharia Mecânica. 2008.

SMITH, David C. The generation and utilization of residuals from composite panel products. **Forest Products Journal**, v. 54, n.2, p. 8-17, fev. 2004.

TANAKA, D. B. **Otimização do projeto de um gerador de vapor que utiliza biodiesel**. 66 f. Trabalho de Formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica. São Paulo, 2007.

TORREIRA, R. P. Geradores de Vapor. São Paulo: Companhia Melhoramentos, 1995. 710p.

UNEP. **Applying cleaner production to MEA's** – Global Status Report.2006. Disponível em: < <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx0899xPA-ApplyingMEA.pdf>>. Acesso em: 17-12-2013.

VASCONCELOS, **Análise da malha nacional de gasodutos com vistas à viabilidade de implantação do plano decenal de energia**. 103 f. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-graduação em Energia, 2012. Universidade Federal do ABC. Santo André, 2012.

VELASCO, F. **Combustíveis**. Apostila do Curso Técnico de Mecânica Disciplina: Máquinas Térmicas. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2009. Disponível em: <www.cefetmg.br>. Acesso em: 14 jan. 2014.