

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Fábio Henrique Lucas da Costa

**ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS SÓCIO-AMBIENTAIS E
ENERGÉTICOS COM A SUBSTITUIÇÃO DE UMA
CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO QUÍMICA EM UMA
INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL**

Taubaté - SP
2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Fábio Henrique Lucas da Costa

**ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS SÓCIO-AMBIENTAIS E
ENERGÉTICOS COM A SUBSTITUIÇÃO DE UMA
CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO QUÍMICA EM UMA
INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL**

**Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo curso de Mestrado em
Engenharia Mecânica do Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade de
Taubaté.**

**Área de Concentração: Energia e Gestão
Ambiental na indústria.**

Orientador: Prof. Dr. José Rui Camargo.

Taubaté - SP
2007

FÁBIO HENRIQUE LUCAS DA COSTA

**ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS SÓCIO-AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS COM A
SUBSTITUIÇÃO DE UMA CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO QUÍMICA EM UMA
INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL**

**Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo curso de Mestrado em
Engenharia Mecânica do Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade de
Taubaté.**

**Área de Concentração: Energia e Gestão
Ambiental na indústria.**

Orientador: Prof. Dr. José Rui Camargo.

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Rui Camargo

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. Carlos Alberto Chaves

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Universidade _____

Assinatura _____

Dedico este trabalho a minha esposa Emilene que sabe realmente todas as dificuldades que nós passamos juntos para que eu pudesse realizar este Mestrado.

Aos meus filhos, Lucas e Rayssa.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Rui Camargo, por todas as orientações, por demonstrar real interesse no meu trabalho e pela sua pessoa,

A secretária do curso de Pós-Graduação Helena Barros, por todas as orientações referentes ao curso,

À Dona Marlene, minha mãe, por acreditar e rezar sempre por mim, e pelos 15 anos que ela trabalhou nos EUA, de segunda à segunda-feira para poder pagar os meus cursos técnicos e a minha graduação,

À Dona Geralda e ao Senhor Netinho, meus avós maternos, por ter me dado uma coisa que ninguém vai conseguir tirar de mim, a educação,

À Emilene, minha esposa, pela paciência,

Aos que colaboraram direta e indiretamente para a consecução deste trabalho.

**"Nós não sabemos quem realmente
somos até que possamos ver o que
somos capazes de fazer."**

Martha Grimes

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados alcançados com a substituição de uma caldeira de recuperação química de soda (NaOH) ocorrida em uma indústria de celulose e papel. A incorporação dos conceitos de "desenvolvimento sustentável" e de "conservação ambiental" no dia-a-dia de uma empresa requer uma mudança de cultura em todos seus níveis funcionais e levam a que a indústria reaja ao desperdício, contribuindo efetivamente para a melhoria da qualidade do meio ambiente. Neste caso, os benefícios alcançados foram a redução das emissões dos óxidos de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e materiais particulados, graças aos progressos alcançados no projeto de instalações de filtragem e de tratamento de gases, e a redução dos custos de produção ou a minimização do uso de matérias-primas e insumos em razão da maior eficiência do processo. Isto levou também a menor geração de resíduos tornando, efetivamente, todo o processo eco-eficiente. O trabalho também apresenta a aplicação das recomendações de operação segura da BLRBAC (comitê consultivo das caldeiras de recuperação de licor preto) e CSCRB (comitê de segurança em caldeira de recuperação do Brasil) para as caldeiras de recuperação química, tendo em vista o grande número de acidentes que vem ocorrendo nos últimos anos com grande prejuízo pessoais e materiais para a indústria. Os problemas de segurança em caldeiras de recuperação, se comparado a outras caldeiras, são similares, mas agravados pelos riscos de explosão pelo contato de smelt fundido com água no interior da fornalha. A necessidade de segurança e operação confiável diante dos riscos especiais tem uma importância significativa nos procedimentos de operação.

Palavras-Chave: caldeira de recuperação química, celulose e papel, eco-eficiência.

ABSTRACT

This work presents the results reached with the substitution of a soda (NaOH) chemical recovery boiler, in a pulp and paper industry. Incorporation of the concepts of “sustainable development” and “environment conservation” in the day by day in a company requires a cultural change in all of its functional levels, and it takes the industry to act against the waste, contributing effectively to the environmental quality improvement. In that case, benefits reached included reductions of the sulfur oxides (SO₂), nitrogen oxides (NO_x), carbon monoxide (CO) and particulate materials emissions, due to the progresses reached with the filtration and gases treatment installation design, and production costs reduction or use minimization of raw materials and inputs due to the better process efficiency. This also took to a smaller residues generation rate, becoming, effectively, all the process ecoefficient. The work also presents the application of the BLRBAC (black liquor recovery boiler advisory committee) and CSCRB (recovery boiler brazilian committee) safe operation recommendations for the chemical recovery boilers, taking in account the great number of accidents that had happened in the past years, with great personal injuries and materials losses for the industry. Safety problems in chemical recovery boilers, if compared to other boilers, are similar, but worsened by the explosion risks caused by the contact of smelt with water inside the furnace. Necessity of safety and reliable operation in contrast with the special risks have a significant importance in the operation procedures.

key-words: chemical recovery boiler, pulp and paper, eco-efficiency.

SUMÁRIO

Lista de tabelas.....	10
Lista de figuras.....	11
Lista de abreviaturas.....	13
1 Introdução	
1.1 Introdução.....	15
1.2 Justificativa para a instalação de uma nova caldeira de recuperação química.....	18
1.3 Organização do texto.....	20
2 Teste de desempenho da caldeira de recuperação química B (nova)	
2.1 O teste de desempenho.....	23
2.2 Otimizações do processo.....	30
3 Principais diferenças dos componentes das caldeiras de recuperação química A e B	
3.1 Caldeira de recuperação química A.....	34
3.2 Caldeira de recuperação química B.....	39
3.3 Principais diferenças no projeto entre as caldeiras de recuperação química A e B.....	43
3.4 Principais diferenças dos componentes auxiliares e das recomendações de segurança da BLRBAC das caldeiras de recuperação química A e B.....	46
3.5 Otimizações do processo.....	64
4 Geração de energia elétrica – aumento de geração	
4.1 Distribuição de vapor e energia elétrica.....	65
4.2 Otimizações do processo.....	69

5	Discussão final e Conclusões	
5.1	Discussão final.....	71
5.2	Conclusões.....	72
	Referências bibliográficas.....	76
	Apêndice A - Processo de fabricação de celulose e papel.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela comparativa – Garantia x obtido.....	23
Tabela 2 – Principais gases emitidos na caldeira de recuperação química B.....	25
Tabela 3 – Principais gases emitidos na caldeira de recuperação química A.....	26
Tabela 4 – Taxas das emissões máximas permitidas p/ indústrias de celulose e papel.....	27
Tabela 5 – Dados técnicos das caldeiras de recuperação química A e B.....	44
Tabela 6 – Comparativo da operação das caldeiras de recuperação química A e B.....	44
Tabela 7 – Otimização do processo pós-caldeira de recuperação B (nova).....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo típico das indústrias de celulose e papel.....	15
Figura 2 – Diagrama do desenvolvimento da dissertação.....	22
Figura 3 – Pontos de amostragem dos gases antes e após o precipitador eletrostático.....	27
Figura 4 – Caldeira de recuperação química A (antiga).....	28
Figura 5 – Construção da caldeira de recuperação química B (nova).....	29
Figura 6 – CR-A parada e CR-B em operação.....	29
Figura 7 – Soda recuperada.....	30
Figura 8 – Consumo de soda cáustica.....	31
Figura 9 – Consumo de enxofre.....	31
Figura 10 – Produção de celulose.....	32
Figura 11 – Produção de papel.....	33
Figura 12 – Arrastador principal de cinzas da caldeira de recuperação química.....	46
Figura 13 – Aquecedor de licor preto do tipo direto da CR-B.....	47
Figura 14 – Queimadores de licor preto da caldeira de recuperação química B.....	48
Figura 15 – Ventiladores de ar primário e secundário da CR-B.....	49
Figura 16 – Tanque dissolvedor da caldeira de recuperação química B.....	50
Figura 17 – Sala de controle da caldeira de recuperação química A.....	51
Figura 18 – Sala de controle da caldeira de recuperação química B.....	51
Figura 19 – Lavador de gases da caldeira de recuperação química B.....	52
Figura 20 – Sopradores de fuligem da caldeira de recuperação química B.....	53
Figura 21 – Tambor de vapor da caldeira de recuperação química B.....	54
Figura 22 – Distribuição de vapor antes da caldeira de recuperação química B.....	65
Figura 23 – Distribuição de energia antes da caldeira de recuperação química B.....	66
Figura 24 – Geração e distribuição de energia antes da CR-B.....	66

Figura 25 – Distribuição de vapor após a caldeira de recuperação química B.....	67
Figura 26 – Distribuição de energia após a caldeira de recuperação química B.....	68
Figura 27 – Geração e distribuição de energia após a CR-B.....	68
Figura 28 – Energia elétrica produzida.....	70
Figura 29 – Energia elétrica comprada.....	70
Figura A.1 – Etapas da produção da madeira para produção de celulose.....	77
Figura A.2 – Etapas da preparação da madeira para o cozimento.....	79
Figura A.3 – Digestor do tipo contínuo.....	80
Figura A.4 – Máquina de papel kraft.....	81
Figura A.5 – Caldeira de recuperação química.....	82
Figura A.6 – Evaporadores de múltiplos efeitos.....	83
Figura A.7 – Principais etapas da queima do licor preto.....	84
Figura A.8 – Fundo da fornalha.....	85
Figura A.9 – Processo típico da caustificação.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS

ABTCP	Associação Brasileira de celulose e papel.
ALQM	Abaixo do limite de quantificação do método.
BLRBAC	Black liquor recovery boiler advisory committee.
CB-A	Caldeira de biomassa A.
CB-B	Caldeira de biomassa B.
CCM	Centro de controle de motores
CETESB	Companhia de tecnologia de saneamento ambiental.
CONAMA	Conselho nacional do meio ambiente.
CR-A	Caldeira de recuperação química A.
CR-B	Caldeira de recuperação química B.
CSCRB	Comissão de segurança de caldeira de recuperação química do Brasil.
ESP	Shutdown procedure emergency – Procedimento de parada de emergência.
Frozen smelt layer	Camada de fundido frio.
GLP	Gás liquefeito do petróleo.
GNC	Gás não-condensável.
MP	Material particulado.
PPE	Procedimento de parada de emergência (“ESP: Emergency shutdown procedure”).
Primary air	Ar primário.
SDCD	Sistema digital de controle distribuído (“Digital distributed control system”).
Secondary air	Ar secundário.
Smelt Spouts	Bica de fundido.

TG-A	Turbogerador A.
TG-B	Turbogerador B.
TNT	Trinitrotolueno - Explosivo.
TRS	Enxofre total reduzido (“Total reduced sulfur”).
tss	Toneladas de sólidos secos

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

A recuperação química nas fábricas de celulose e papel constitui uma parte essencial do processo. A caldeira de recuperação química é um dos equipamentos fundamentais do processo de produção de celulose, devido aos objetivos múltiplos (SENAI, 1981), tais como a produção de vapor vivo, produção de inorgânicos fundidos (retorno dos reagentes ao digestor com o mínimo de perda) e incineração (eliminação) de efluentes com potencial poluidor. A Figura 1 mostra um processo típico das indústrias de celulose e papel e o Apêndice A faz uma rápida descrição de todo o processo.

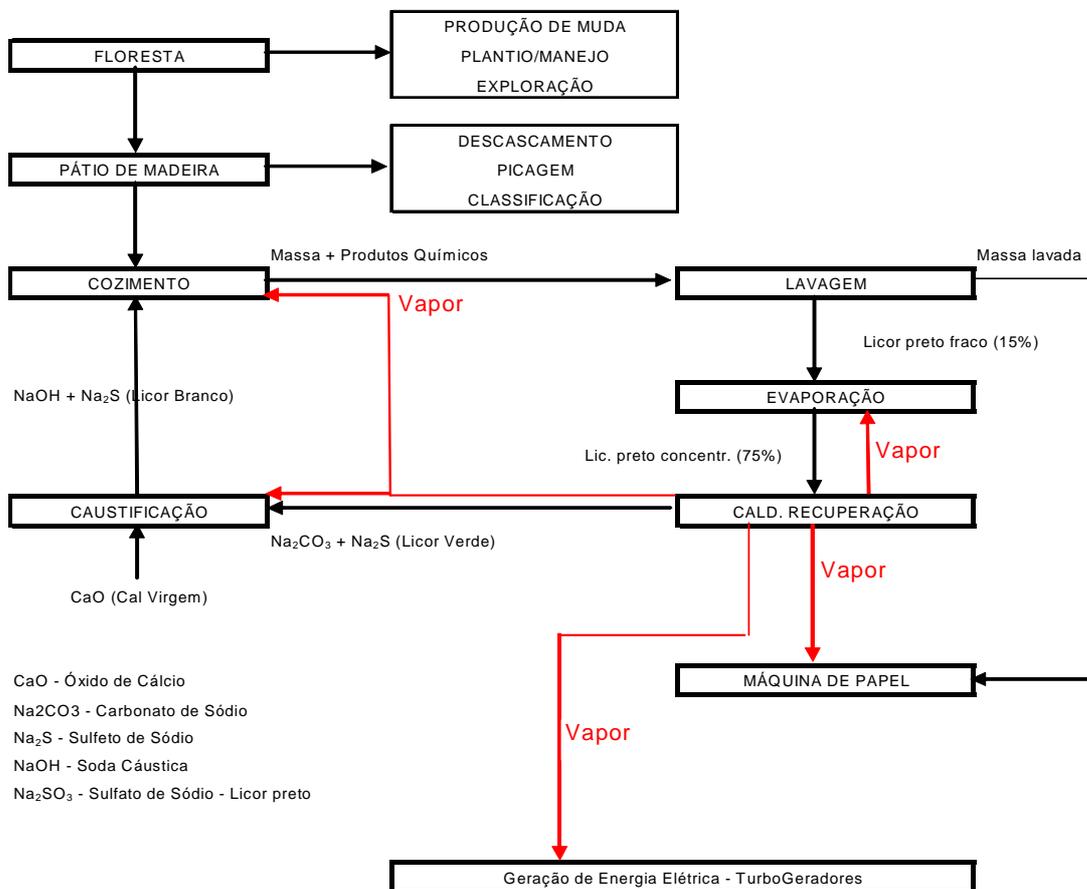


Figura 1 – Processo típico das indústrias de celulose e papel

Outro fator importante conforme se verifica na Figura 1 é a presença nas fábricas de celulose e papel da co-geração. Os sistemas de co-geração (BALESTIERE, 2002) são aqueles em que se faz simultaneamente a geração de duas formas de energia, a elétrica e a térmica, a partir de um mesmo combustível, tais como os derivados de petróleo, o gás natural, o carvão ou a biomassa. Um sistema de co-geração bem dimensionado e balanceado do ponto de vista da porcentagem final de cada uma das duas formas de energia aumenta o rendimento global da utilização do combustível, atuando, assim, no sentido do incremento da eficiência energética. Reduzir os desperdícios leva uma empresa a despojar-se de muitos tipos de ineficiência. Quando sobras, substâncias tóxicas ou formas de energia são despejadas no meio ambiente como poluição, isto significa que os recursos não foram utilizados totalmente, efetivamente ou com eficiência. Além disso, as empresas em seguida têm que tomar outras medidas que acrescentam custos sem acrescentar valor algum para o consumidor: por exemplo, encaminhar, armazenar e dispor os descartes.

Eliminar a ineficiência e melhorar a produtividade com prevenção de poluição explica, sem dúvida, os resultados no aumento de lucros (ROMM, 2004). Uma produção limpa e um desenho de processo sustentável são métodos clássicos para prevenir a poluição. Essas estratégias obrigam um fabricante qualquer a enxergar o processo todo da produção, e não apenas uma operação isolada.

Quando melhora o processo, não só elimina operações desnecessárias, mas também, invariavelmente, reduz o consumo energético e diminui o impacto ambiental. Toda empresa deveria elaborar uma estratégia verde para reduzir ao máximo as emissões e o prazo de amortização. Ela permitirá aproveitar as novas tecnologias, os regulamentos sendo revisados e a troca prevista dos equipamentos existentes.

Existem dois tipos de energia verde que emitem menos dióxido de carbono (CO₂). A primeira é a geração simultânea de calor e eletricidade – a denominada Co-geração, que pode

reduzir em um a dois terços a emissão de dióxido de carbono. A segunda é a energia renovável – solar, eólica, biomassa e geotérmica, que pode eliminar totalmente as emissões de CO₂. As oportunidades para aproveitar uma fonte custo-efetiva de energia verde, que eram raras há alguns anos, são hoje abundantes, estimuladas por avanços recentes da tecnologia, além de uma crescente tendência de desregulamentação do setor de geração de eletricidade. Pela primeira vez, em muitos anos, as empresas podem ter uma ampla escolha de fontes de eletricidade, e se fizerem a opção certa, conseguirão reduzir os custos e as emissões ao mesmo tempo.

Nos últimos anos, a questão energética (ROMM, 2004) tomou posição central na agenda ambiental global, principalmente dentro das negociações da convenção do clima. Isso porque a atual matriz energética mundial depende ainda de cerca de 80% de combustíveis fósseis cuja queima contribui para aumentar rapidamente a concentração de gases-estufa na atmosfera. De um modo geral, porém, pode-se dizer que a importância da busca de maior eficiência energética e da transição para o uso de recursos primários renováveis tem sido ressaltada em qualquer avaliação sobre desenvolvimento sustentável.

O setor energético produz impactos ambientais em toda sua cadeia de desenvolvimento, desde a captura de recursos naturais básicos para seus processos de produção, até seus usos finais por diversos tipos de consumidores. Do ponto de vista global, a energia tem participação significativa nos principais problemas ambientais da atualidade.

Na organização mundial atual, a energia pode ser considerada como um bem básico para a integração do ser humano ao desenvolvimento. Isso porque a energia proporciona oportunidades e maior variedade de alternativas tanto para a comunidade como para o indivíduo. Sem uma fonte de energia de custo aceitável e de credibilidade garantida, a economia de uma região não pode desenvolver-se plenamente, tampouco o indivíduo e a

comunidade podem ter acesso adequado a diversos serviços que são essenciais ao aumento da qualidade de vida, tais como educação, saneamento e saúde pessoal.

Por outro lado, acredita-se que graus de desenvolvimento comparáveis aos alcançados até o presente são possíveis sem que seja necessário um aumento semelhante na utilização de energia como se verificou no processo de desenvolvimento anterior. Isso quer dizer que, com um uso eficiente de formas renováveis de energia, é possível prosseguir com o desenvolvimento sem exercer maiores pressões sobre o ecossistema. De uma forma geral, as soluções energéticas voltadas ao desenvolvimento sustentável hoje defendida seguem determinadas linhas de referência básica.

1.2 Fatores que justificavam a instalação de uma nova caldeira de recuperação química

Para atender à nova carga de queima de sólidos secos em virtude do aumento de produção ao longo dos anos, atender as legislações ambientais vigentes e aumentar a geração de energia elétrica, um aumento considerável da capacidade da caldeira de recuperação química e instalação de um precipitador eletrostático era necessário.

Tendo em vista que a atual caldeira de recuperação química A, com capacidade para 140 tss/dia estava trabalhando com o dobro da capacidade, ou seja, queimando diariamente 280 tss/dia, o que várias vezes ocasionou danos à bica de fundido, acarretou a lavagem da passagem de gases devido aos constantes entupimentos, acarretando a parada da caldeira por várias horas (COSTA, 2002 a 2006). Nos próximos capítulos serão citadas as outras particularidades, outros problemas operacionais, que foram importantes na escolha entre três alternativas:

- Aumento da capacidade da atual caldeira de recuperação química A, o que acarretaria uma parada da produção por vários meses;

- Instalação de uma caldeira de recuperação química usada, com capacidade de 280 tss/dia, que foi comprada em troca do licor preto que não era queimado na caldeira de recuperação química A;
- Ou a compra de uma nova e moderna caldeira de recuperação química.

Em 2005 a fábrica decidiu pela terceira alternativa, substituir a atual caldeira de recuperação química instalada em 1981 por uma nova caldeira, com capacidade de 400 tss/dia.

A nova caldeira, denominada caldeira de recuperação química B, deveria atender aos seguintes requisitos:

-Atender as legislações ambientais vigentes de acordo com a resolução N.º 382 do CONAMA (conselho nacional do meio ambiente), levando em conta que a caldeira de recuperação química A não possuía precipitador eletrostático e a concentração final do licor preto era feita com evaporadores de contato direto, tipo ciclone. A nova caldeira deveria substituir a existente onde deveriam ser instalados novos concentradores para aumentar a concentração final do licor preto para 75% de sólidos, atenderem aos parâmetros mais modernos de controle ambiental conforme recomendações do CONAMA na resolução n.º 382, conforme se verificará posteriormente que não eram atendidas pela caldeira de recuperação química A;

-Ter baixo custo operacional e alta disponibilidade de operação (COSTA, 2002 a 2006) (LIMA, 2006 a 2007);

- Aumentar a geração de energia elétrica.

Nos próximos capítulos serão melhor detalhados esses três itens.

1.3 Organização do texto

A seqüência para o texto da dissertação está conforme descrito a seguir, e a sua estrutura, de acordo com a Figura 2.

No capítulo 1, faz-se à justificativa da instalação de uma nova caldeira de recuperação química e da sua importância no processo de fabricação de celulose e papel, além de mencionar a importância da co-geração na atualidade. Para desenvolver esse capítulo foram utilizadas as seguintes referências: Tecnologia de fabricação da pasta celulósica (SENAI, 1981); Co-geração - Geração combinada de eletricidade e calor; A conservação de energia por meio da co-geração de energia elétrica (BALESTIERE, 2002); Empresas eco-eficientes (ROMM, 2004); Como se preparar para as normas ISO 14000: Qualidade Ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente (VALLE, 2000); Relatório de custos – janeiro/2006 a maio/2007 (LIMA, 2006 à 2007); e Relatório mensal de ocorrências do departamento de recuperação e utilidades - janeiro/2002 à dezembro/2006 (COSTA, 2002 à 2006).

No capítulo 2 para comprovar os dados de fabricação da nova caldeira de recuperação química e o atendimento ao termo de conduta ambiental, é mostrado o teste de desempenho que foi realizado em outubro de 2006. Para desenvolver esse capítulo foram utilizados dados do teste de desempenho que foi acompanhado pelo autor; Relatório de custos – janeiro/2006 à maio/2007 (LIMA, 2006 à 2007); e Relatório mensal de ocorrências do departamento de recuperação e utilidades - janeiro/2002 à dezembro/2006 (COSTA, 2002 à 2006); Manual de instruções da Caldeira de Recuperação B (CBC, 2006).

No capítulo 3 verificará a distribuição de vapor e energia antes e depois da entrada em operação da nova caldeira de recuperação química B, bem como a auto-suficiência da fábrica na geração de energia. Para desenvolver esse capítulo foram utilizadas as seguintes referências: Relatório de custos – janeiro/2006 à maio/2007 (LIMA, 2006 à 2007); e Relatório

mensal de ocorrências do departamento de recuperação e utilidades - janeiro/2002 à dezembro/2006 (COSTA, 2002 à 2006).

No capítulo 4 é feito um resumo das principais diferenças de projeto das caldeiras de recuperação química A e B, além de citar algumas etapas da construção e operação da caldeira de recuperação química B. Também é feita a análise das diferenças dos principais componentes das caldeiras de recuperação química A e B, e em função dos vários acidentes que ocorreram com as caldeiras de recuperação química no passado, foi criada pela BLRBAC - Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee (Comitê consultivo das caldeiras de recuperação de licor preto), uma lista de recomendações mínimas para operação segura de tais caldeiras no qual também é feita uma comparação das recomendações que eram seguidas pela caldeira de recuperação química A e quais são seguidas pela nova caldeira de recuperação química B. Para desenvolver esse capítulo foram utilizadas as seguintes referências: BLRBAC – Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee – Práticas Recomendáveis. Revisão 2004 (BLRBAC, 2004); Detecção acústica de vazamento em caldeiras de recuperação química: cinco casos reais na Rigesa (SCHREIBER, 1999); Análise e discussão das recomendações do BLRBAC para a queima de licor preto em caldeira de recuperação química (PEREIRA, 1999); Manual de instruções da caldeira de recuperação química B do vol. 1 ao vol. 10 (CBC, 2006); os manuais de operação da caldeira de recuperação química A do vol. 1 ao vol. 7 (GOTAVERKEN, 1981); relatórios mensais de ocorrências do departamento de recuperação e utilidades - janeiro/2002 a dezembro/2006 (COSTA, 2002 à 2006).

No capítulo 5, fazem-se as conclusões e as considerações finais sobre a implantação da nova caldeira de recuperação química B. E por fim são listadas as referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento da dissertação e no apêndice A demonstra-se de forma resumida um processo básico das indústrias de celulose e papel típica. Para desenvolver o

apêndice foram utilizadas as seguintes referências: Geradores de vapor (PERA, 1990); Geradores de vapor (TORREIRA, 1995) e Tecnologia de fabricação da pasta celulósica Vol. 1 (SENAI, 1981); Curso de Recuperação de Produtos Químicos (GALDINO, 1991).

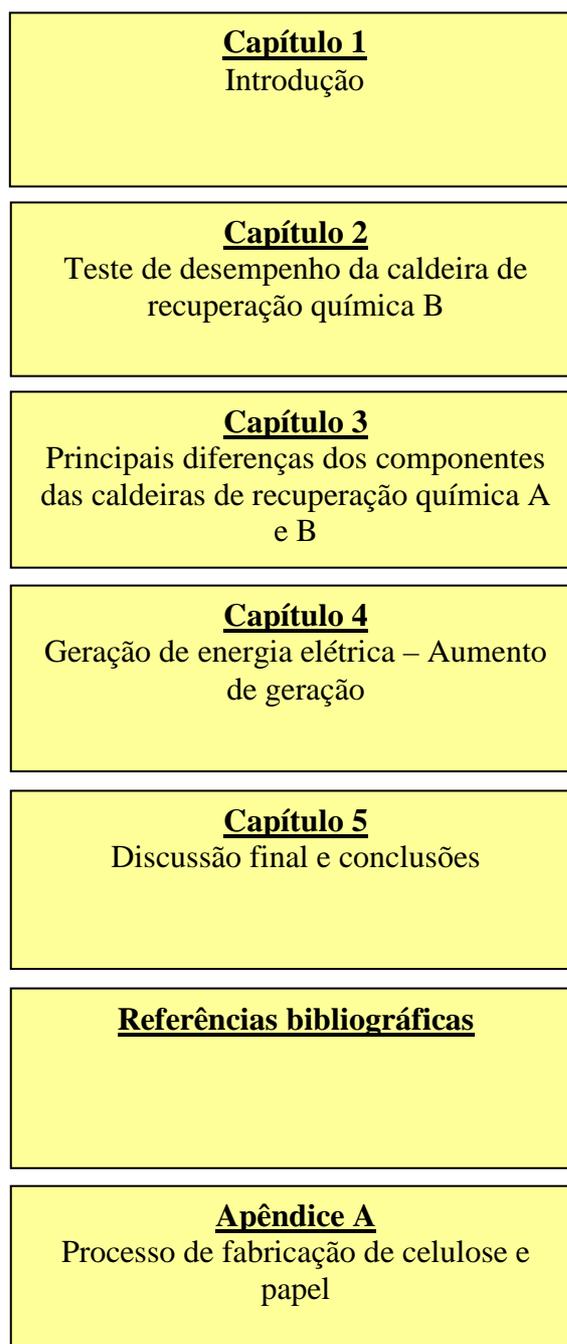


Figura 2 – Diagrama do desenvolvimento da dissertação

CAPÍTULO 2

TESTE DE DESEMPENHO DA CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO QUÍMICA B (NOVA)

2.1 O teste de desempenho

Para verificar a eficiência da caldeira e do precipitador eletrostático para verificação das emissões atmosféricas, foi realizado o teste de desempenho em 10 de outubro de 2006, das 13:30 às 18:00 horas, com a caldeira na carga nominal e sendo mantida constante durante todo o teste. A Tabela 1 mostra os dados referentes às condições de garantia do projeto do fornecedor da caldeira e os obtidos durante os testes.

Tabela 1 – Tabela comparativa – Garantia X Obtido (CBC, 2006)

Item	Descrição	Unidade	Garantia	Obtido
1	Capacidade de sólidos secos	tss/24h	400	409
2	Produção de vapor	t/h	73,9	68,9
3	Pressão de vapor	MPa	4,2	4,3
4	Temperatura do vapor superaquecido	°C	400 ± 10	422,3
5	Temperatura do gás (saída Eco)	°C	190 ± 10	163,1
6	Eficiência de Redução	%	96	95,2

Verifica-se na Tabela 1 que o principal item de garantia da caldeira, a capacidade de sólidos secos, foi facilmente obtido. Esse valor poderia ser maior, só que prejudicaria a produção de vapor, onde se verifica a proximidade entre o garantido e o obtido durante o teste.

Nota-se também na Tabela 1 que a pressão de operação e a eficiência de redução ficaram bem próximo da garantia.

Um item que virou discussões de várias reuniões foi com relação à temperatura do vapor superaquecido que estava muito alto para os padrões de operação da fábrica. Neste caso foi

sugerido a princípio a diminuição das sopragens de fuligem na região dos superaquecedores. O objetivo foi sujar essa região para diminuir a eficiência térmica. Nesse caso não verificou-se nenhuma melhora, onde sempre havia a necessidade da injeção de mais água pela dessuperaquecedora para diminuir a temperatura de saída do vapor superaquecido, causando grande choques térmicos, o que resultou em novembro de 2007 a parada da caldeira ao ter rompido alguns tubos do superaquecedor.

A amostragem em chaminés (ou dutos) é um procedimento experimental que se utiliza para avaliar as características dos fluxos gasosos e determinar qualitativa e quantitativamente os poluentes gerados nos processos e atividades industriais.

A emissão de um poluente (VALLE, 2000) é principalmente função das condições de operação da fonte e do sistema de controle do referido poluente. Conseqüentemente, os resultados obtidos nas amostragens são válidos apenas para as condições em que a fonte e o sistema de controle estiverem operando durante o período em que as mesmas foram executadas.

Para evitar qualquer tentativa de alteração dos gases emitidos durante os testes na operação da caldeira, como por exemplo, o excesso de ar na combustão do licor preto, foi também utilizado a conversão da concentração medida para as condições referenciais de oxigênio (método de análise com base em 8% de O₂) que tem o objetivo de corrigir a concentração do poluente para as condições estabelecidas na resolução N.º 382, de 26 de dezembro de 2006, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. O objetivo principal do teste foi fornecer dados para a avaliação das emissões gasosas oriundas da caldeira de recuperação química B para a liberação de operação pela CETESB (Companhia de tecnologia de saneamento ambiental). A Tabela 2 mostra os principais dados dos gases emitidos na entrada e saída do precipitador eletrostático da caldeira de recuperação química B obtidos

durante o teste de desempenho e a Tabela 3 mostra os resultados das medições obtidas no início de 2006 durante as medições anuais obrigatórias pela CETESB da caldeira de recuperação química A.

Tabela 2 – Principais gases emitidos na caldeira de recuperação química B

FONTES: Monóxido de Carbono	CO (mg/Nm³)		CO (mg/Nm³) 8% O₂	
Entrada do Precipitador CR-B	10000,0		6958,7	
Saída da Chaminé CR-B	10416,7		7817,8	
FONTES: Material Particulado	C (mg/Nm³)	C (mg/Nm³) 8% O₂	Vazão (Nm³/h)	TE (kg/h)
Entrada do Precipitador CR-B	15716,7	10940,2	71264,4	1121,1
Saída da Chaminé CR-B	75,9	56,9	93569,5	7,1
FONTES: TRS	C (mg/Nm³)	C (mg/Nm³) 8% O₂	C (ppm)	TE (kg/h)
Saída da Chaminé CR-B	ALQM	ALQM	ALQM	ALQM
FONTES: SO₂	C (mg/Nm³)	C (mg/Nm³) 8% O₂	C (ppm)	TE (kg/h)
Saída da Chaminé CR-B	ALQM	ALQM	ALQM	ALQM
FONTES: H₂SO₄	C (mg/Nm³)	C (mg/Nm³) 8% O₂	C (ppm)	TE (kg/h)
Saída da Chaminé CR-B	ALQM	ALQM	ALQM	ALQM
FONTES: NO_x	C (mg/Nm³)	C (mg/Nm³) 8% O₂	C (ppm)	TE (kg/h)
Saída da Chaminé CR-B	122,5	91,8	59,6	11,5

TRS: Enxofre total reduzido; SO₂: Dióxido de enxofre; H₂SO₄: Ácido sulfúrico; NO_x: Óxidos de nitrogênio; C: Concentração; TE: Taxa de emissão; ALQM: Abaixo do limite de quantificação do método (TRS – 0,3 ppm; SO₂ – 1,3 mg/Nm³; SO₃ – 0,05 mg/Nm³).

Tabela 3 – Principais gases emitidos na caldeira de recuperação química A

FONTES: Monóxido de Carbono	CO (mg/Nm³)		CO (mg/Nm³) 8% O₂	
Saída da Chaminé CR-A	95621,3		84567,4	
FONTES: Material Particulado	C (mg/Nm³)	C (mg/Nm³) 8% O₂	Vazão (Nm³/h)	TE (kg/h)
Saída da Chaminé CR-A	235,6	245,7	375126,0	859,0
FONTES: TRS	C (mg/Nm³)	C (mg/Nm³) 8% O₂	TE (kg/h)	
Saída da Chaminé CR-A	25	27	80	
FONTES: SO₂	C (mg/Nm³)	C (mg/Nm³) 8% O₂	TE (kg/h)	
Saída da Chaminé CR-A	135	127	350	
FONTES: H₂SO₄	C (mg/Nm³)	C (mg/Nm³) 8% O₂	TE (kg/h)	
Saída da Chaminé CR-A	ALQM	ALQM	ALQM	
FONTES: NO_x	C (mg/Nm³)	C (mg/Nm³) 8% O₂	TE (kg/h)	
Saída da Chaminé CR-A	265,1	298,4	980,0	

Legenda:

C: Concentração TE: Taxa de Emissão

ALQM: Abaixo do Limite de Quantificação do Método (TRS - 0,3 ppm; SO₂ - 1,3 mg/Nm³ e SO₃ - 0,05 mg/Nm³)

Verifica-se na Tabela 2 que as fontes como TRS (enxofre total reduzido), SO₂ (um dos causadores das chuvas ácidas), e H₂SO₄ não foram detectadas ou ficaram abaixo do limite de quantificação do método, o que demonstra eficiência da combustão do licor preto e do precipitador eletrostático. Verifica-se também na Tabela 2 com base na Tabela 4 que a emissão de material particulado – MP (constituídos por poeiras e fuligem que estão entres os principais causadores de doenças ocupacionais, como a silicose e a asbestose, e de males respiratórios), e o óxido de nitrogênio (NO_x) estão abaixo do que estabelece a resolução do CONAMA de N.º 382, o que também demonstra eficiência da combustão do licor preto e do precipitador eletrostático.

Conforme pode ser observado na Tabela 2 a eficiência do precipitador eletrostático foi de 99,5 % com base na emissão de material particulado.

De acordo com a Tabela 4 da resolução N.º 382 do CONAMA, ficam estabelecidos os seguintes limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de fabricação de Celulose.

Tabela 4 – Taxas das emissões máximas permitidas para as indústrias de celulose e papel

Equipamento	MP ⁽¹⁾	TRS ⁽¹⁾	SO ₂ ⁽¹⁾	NO _x ⁽¹⁾
Cald. Recuperação	100	15	100	470
Tq. Dissolvedor	0,1 kg/tss	0,008 kg/tss	N.A.	N.A.
Forno de Cal	100	30	N.A.	470

(1) Os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca e corrigidos a 8% de oxigênio, com exceção dos limites estabelecidos para o tanque dissolvedor.

N.A. – Não aplicável.

Observando-se a Tabela 3 com base na Tabela 4, verifica-se que as emissões de MP, TRS, SO₂ e NO_x tiveram resultados sempre acima do limite máximo das taxas de emissões permitidas para as indústrias de celulose e papel fazendo com que a CETESB sempre pressionasse a fábrica para a instalação de um precipitador eletrostático.

No caso do teste de desempenho da caldeira de recuperação química B a eficiência poderia ser maior caso o ponto de amostragem fosse antes da entrada dos gases provenientes do tanque dissolvedor conforme pode ser observado na Figura 3.

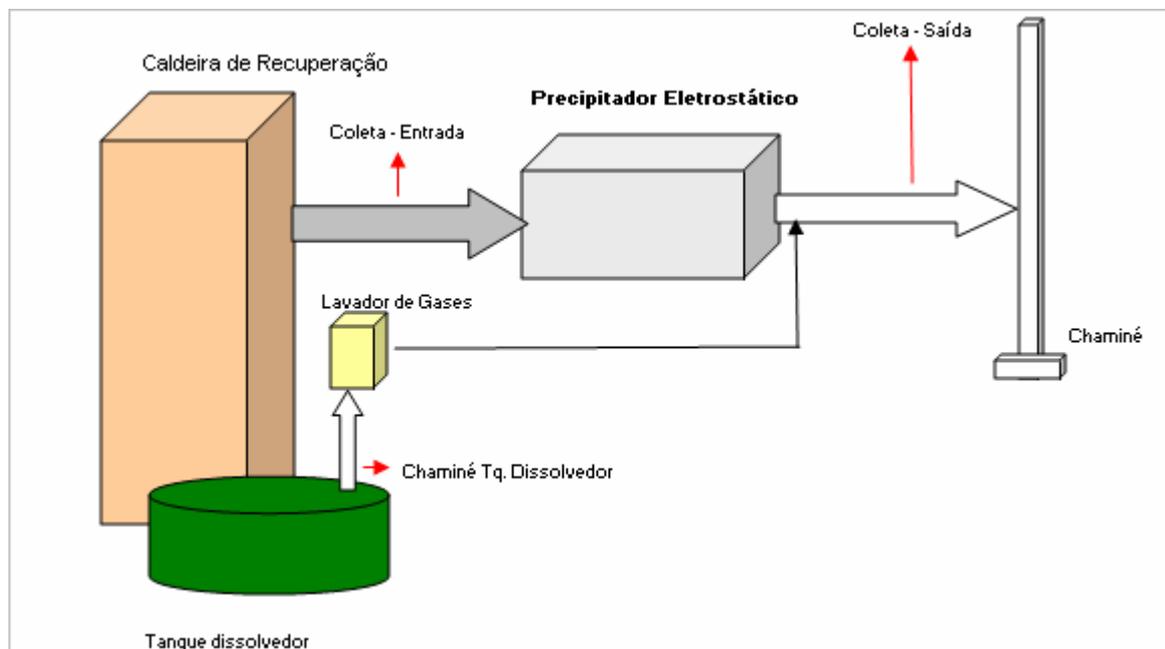


Figura 3 – Pontos de amostragem dos gases antes e após o precipitador eletrostático

Comparando as Tabelas 2 e 4 pode-se verificar que as concentrações das emissões gasosas registradas durante todo o teste de desempenho ficaram abaixo do que estabelece a resolução N.º 382 do CONAMA, mesmo considerando que o ponto de coleta após o precipitador eletrostático incluiu os gases gerados pelo tanque dissolvedor que só utiliza como meio de filtragem um lavador de gás do tipo úmido.

Para melhor visualizar os impactos ambientais antes e depois da instalação da nova caldeira de recuperação química, basta verificar as Figuras 4, 5 e 6 que mostram as instalações da caldeira de recuperação A (antiga) e da caldeira de recuperação B (nova).



Figura 4 – Caldeira de recuperação química A (antiga)



Figura 5 – Construção da caldeira de recuperação química B (nova)



Figura 6 – CR-A parada e CR-B em operação

Observando-se as Figuras 4, 5 e 6 pode-se verificar como principal melhoria no aspecto visual a eliminação da pluma da chaminé, que em tempos passados refletiam o progresso das cidades e a empolgação de seus cidadãos. No presente, qualquer emissão para a atmosfera, provoca reações da sociedade, tais têm sido as constatações dos efeitos negativos ao meio-ambiente em geral.

Para verificar algumas melhorias foi feita uma entrevista com a população que vive na região e chegou-se também aos seguintes resultados de melhorias:

- Diminuição do cheiro característico das fábricas de celulose e papel;
- Eliminação da pluma da chaminé na vizinha.

2.2 Otimizações do processo

Com a entrada em operação da nova caldeira de recuperação química B houve um grande aumento na recuperação dos principais compostos químicos do licor preto, a soda (NaOH) e o enxofre (como Na₂S), conforme pode-se verificar nas Figuras 7, 8 e 9.

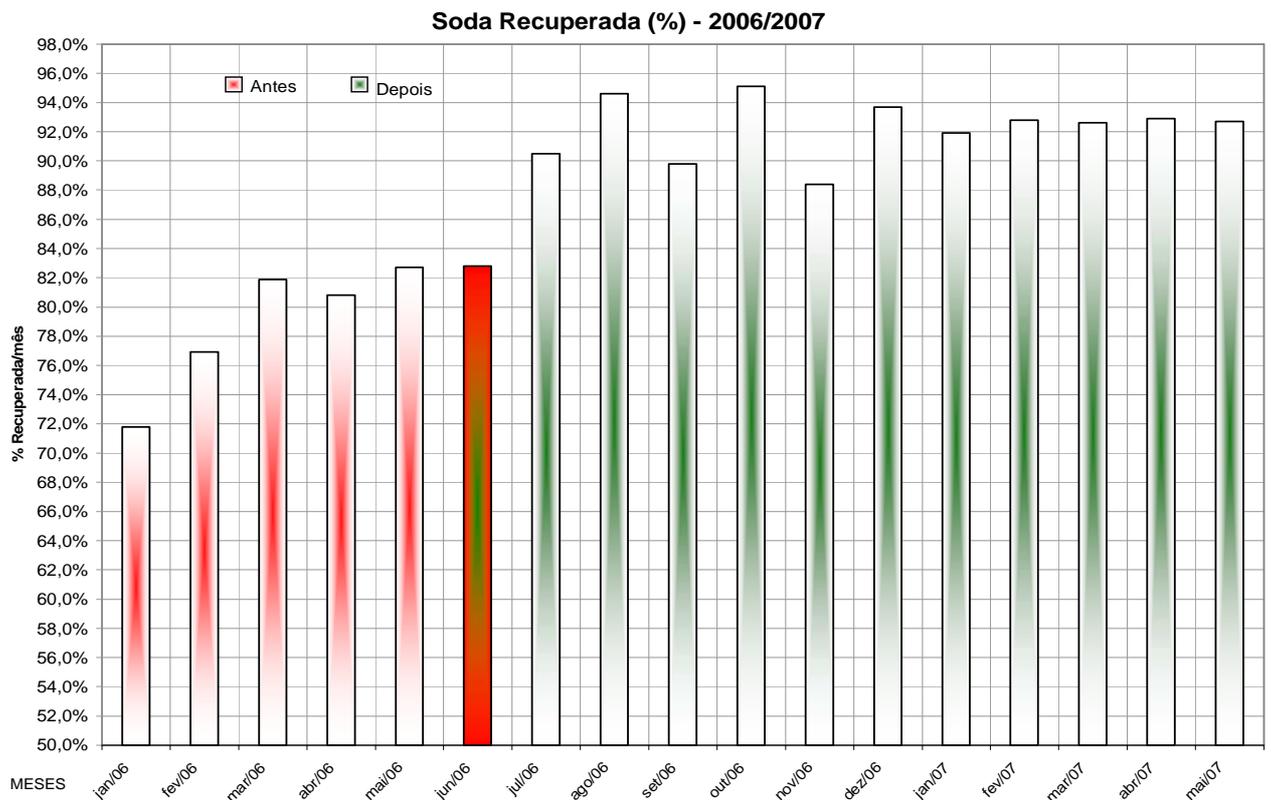


Figura 7 – Soda recuperada (LIMA, 2006 a 2007)

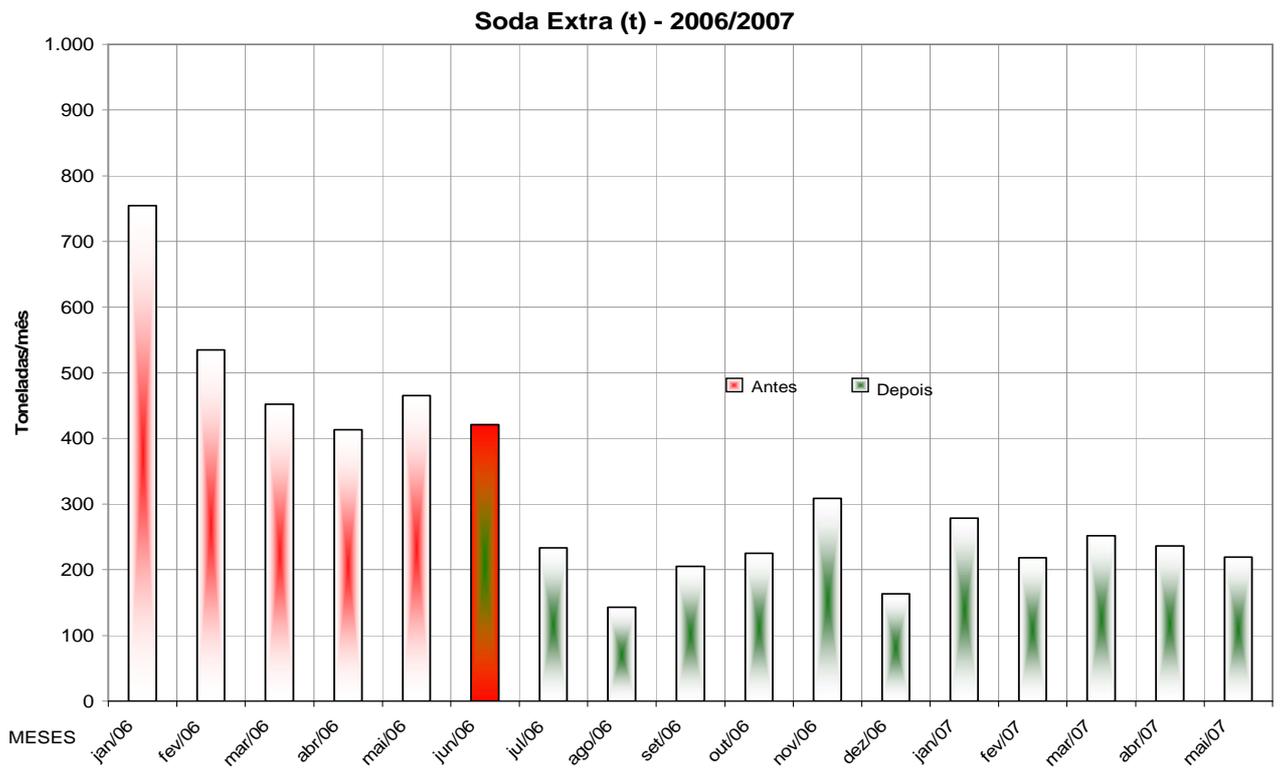


Figura 8 – Consumo de soda cáustica (LIMA, 2006 a 2007)

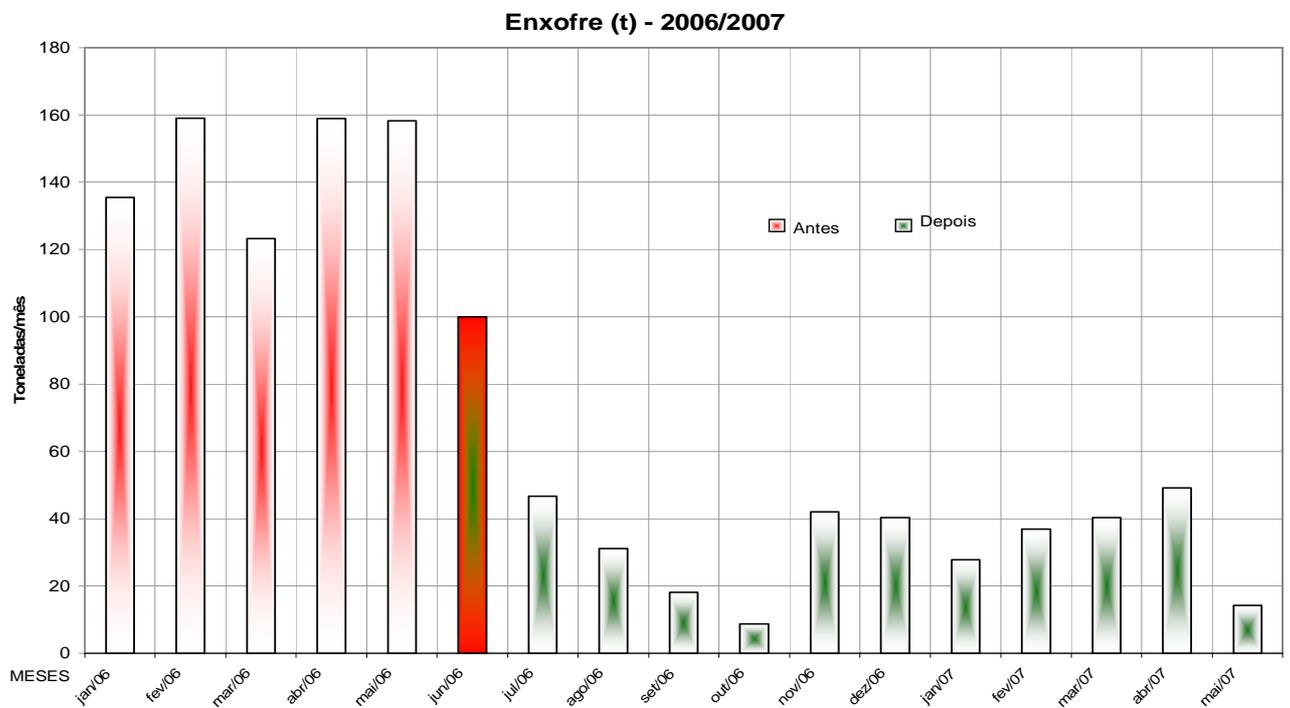


Figura 9 – Consumo de enxofre (LIMA, 2006 a 2007)

Verificando-se as Figuras 7, 8 e 9 e com base nos dados dos relatórios de custos mensais (LIMA, 2006 e 2007), verifica-se que os custos mensais médios com soda cáustica era de 730 mil reais e com enxofre 50 mil reais. Após a entrada em operação da nova caldeira de recuperação química esse valor passa a valer em média 290 mil reais e 13 mil reais respectivamente para soda e enxofre.

Com o aumento da capacidade de queima do licor preto com a nova caldeira de recuperação química verificou-se também como economia os gastos com o transporte do licor preto que não era queimado na caldeira de recuperação química, gasto este que chegava a cifra de 50 mil reais o que atualmente não é mais necessário.

Também devido ao aumento da capacidade de queima do licor preto, que era um dos fatores limitantes da produção, verifica-se o aumento da produção de celulose e papel conforme as Figuras 10 e 11.

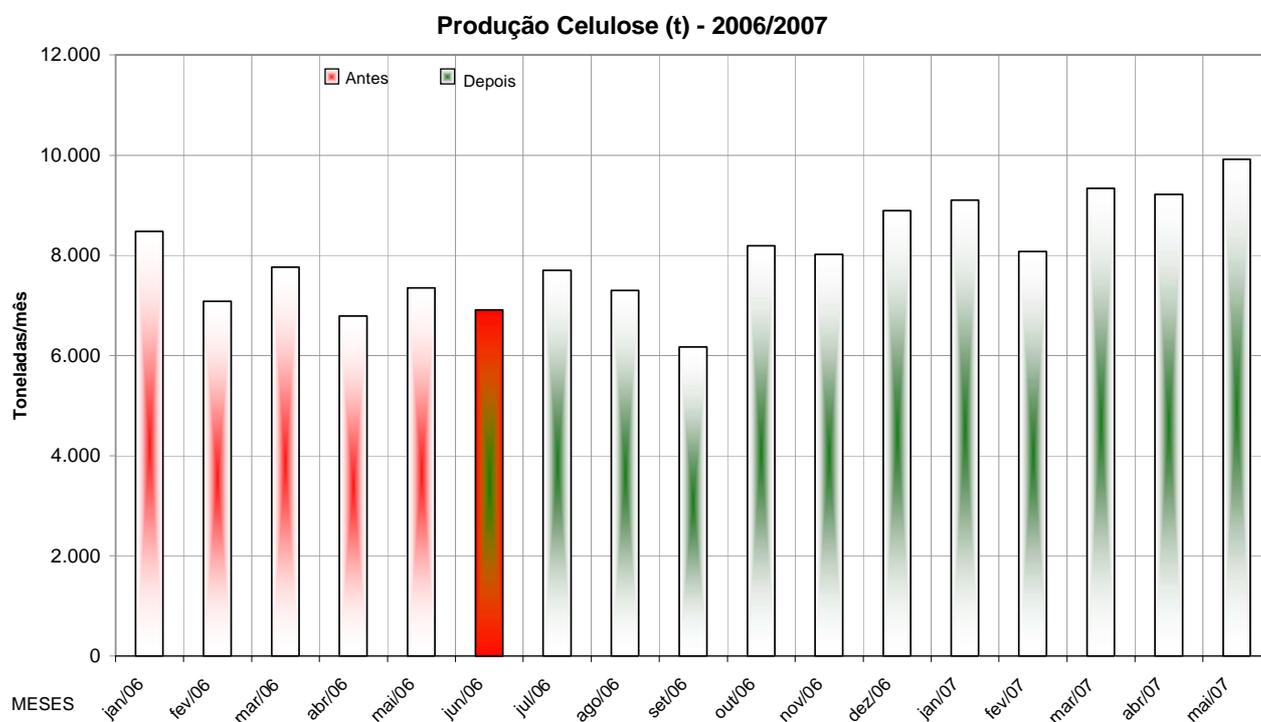


Figura 10 – Produção de celulose (LIMA, 2006 a 2007)

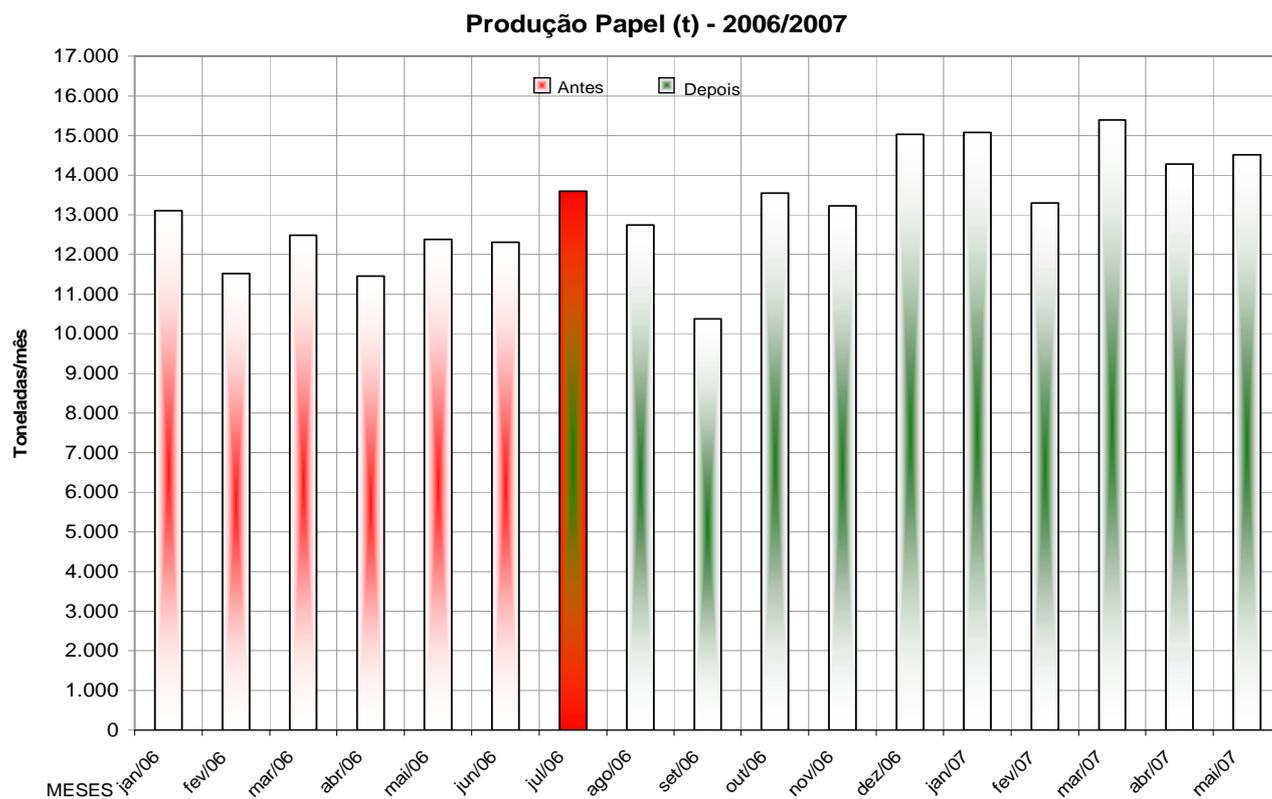


Figura 11 – Produção de papel (LIMA, 2006 a 2007)

Esse aumento de produção proporcionou a fábrica a redução do custo final do papel e a diminuição de compra de papel das outras unidades de papel para a fabricação de caixa de papelão, principal produto da indústria em estudo.

CAPÍTULO 3

Principais diferenças dos componentes das caldeiras de recuperação química A e B

3.1 Caldeira de recuperação química A

A caldeira de recuperação química A que foi construída em 1981 entrando em operação no mesmo ano com capacidade de queima de licor preto para 140 tss/dia e geração de vapor saturado para 25 t vapor/h sofreu nos decorrer dos anos de operação várias alterações nos seus componentes auxiliares para que essa capacidade pudesse trabalhar até o final do mês de junho de 2006 com uma capacidade de queima próximo de 280 tss/dia.

Esse aumento de capacidade sem um projeto de aumento de capacidade da própria caldeira trouxe vários problemas para operação segura desse equipamento que requer maiores cuidados que uma caldeira que usa por exemplo a biomassa como combustível. Em todos esses anos os principais problemas foram (COSTA, 2002 a 2006):

- Cristalização do tanque dissolvedor;
- Furo na bica de fundido;
- Deslocamento da bica de fundido;
- Furo nos fragmentadores principal e de emergência;
- Tubos furados;
- Choque térmico durante as paradas mensais.

Em novembro de 2006, devido ao problema do superaquecedor da caldeira de recuperação química B, foi necessário voltar a operar com a caldeira que demonstrou total disponibilidade operacional durante o tempo que a caldeira de recuperação química B ficou parada para manutenção.

A caldeira de recuperação química A encontra-se em hibernação e pronta para operar se for o caso.

Nos próximos itens serão listados os vários problemas operacionais que ocorreram com a caldeira de recuperação química A que favoreceram na escolha da instalação de uma nova caldeira de recuperação química.

3.1.1 Bica de fundido

A bica de fundido é um dos equipamentos essenciais de uma caldeira de recuperação química, pois é responsável para enviar o fundido da fornalha para o tanque dissolvedor para fragmentação desse material. Como o fundido escorre pela bica com uma temperatura aproximada de 900 °C, faz-se necessário o resfriamento com água tratada, o que traz grande riscos para operação, como por exemplo, no caso de um vazamento de água, e como consequência o contato com o fundido. Outro ponto importante é que tal equipamento está sujeito a constante limpeza para evitar que o material fundido não pare de escorrer, evitando-se assim o acúmulo de fundido na fornalha, o que pode ocasionar a erosão da bica.

No caso da caldeira de recuperação química A como existia somente uma bica de fundido sempre ocorria grande descargas de fundido, o que ocasionava constantes deslocamento da bica da abertura da parede da fornalha, fazendo com que ocorresse vazamento de fundido para o piso zero da caldeira. Durante a operação da caldeira por várias vezes foram necessários trocar a bica de fundido, hora por deslocamento e empenamento, outrora por vazamento, o que despendia muita tempo de parada da caldeira e perda de produção ou até mesmo a parada total da unidade fabril.

3.1.2 Fragmentadores de fundido

São responsáveis por fragmentar o fundido proveniente da bica de fundido antes de chegar ao tanque dissolvedor com o auxílio do vapor para evitar explosão do contato fundido-água.

A caldeira de recuperação química A possui dois fragmentadores, um principal e outro de emergência para os casos de grande escorrimento das bicas de fundido ou no caso de uma eventual manutenção do fragmentador principal.

Durante os últimos anos de operação da caldeira A foram registradas vários cortes da queima de licor preto e às vezes até a parada total da caldeira para reparos em tais equipamentos, em consequência houve várias reduções da produção ou até mesmo parada total da unidade.

3.1.3 Tanque dissolvedor

Equipamento responsável por diluir o fundido proveniente da fornalha, transformando-o em licor verde ($\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{S}$) que posteriormente é enviado para a caustificação para conversão em licor branco ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$).

No caso da caldeira de recuperação química A quando havia grandes escorrimentos na bica de fundido, chegava a ocorrer um grande deslocamento de ar do contato fundido-água, provocando o deslocamento da tampa do tanque. Em outros casos houve até a cristalização total do tanque, sendo necessário a utilização de rompedor para quebrar os cristais formados, em consequência houve várias reduções da produção ou até mesmo parada total da unidade.

3.1.4 Sopradores de fuligem

São equipamentos utilizados para remover as fuligens de sulfato de sódio que são arrastadas durante a queima do licor preto e que ficam impregnadas nos tubos de troca térmica da caldeira. Com a importância de manter a eficiência de troca térmica próximo dos 100%, esses equipamentos deveriam ter uma disponibilidade de operação de 100%, para evitar tais incrustações e o fechamento das passagens de gases.

A caldeira de recuperação química A era composta de 6 sopradores de fuligem. Os grandes problemas enfrentados durante a operação da caldeira com esses equipamentos foram:

- Constantes travamentos dos sopradores dentro da fornalha, vindo a provocar o empenamento do tubo da lança interna. Neste caso era necessário trocar a lança o que custava cerca de 5 horas de trabalho contínuos;

- A válvula de admissão de vapor para o soprador sempre apresentava falha na abertura, devido a constantes empenamentos e/ou a quebra da haste de acionamento;

- O redutor de acionamento de carrinho da lança sempre quebrava as engrenagens;

- Os fins-de-curso sempre estavam travados provocando por exemplo o recuo excessivo do carrinho, o que sempre ocasionava a queda do carrinho da cremalheira e o empenamento da haste de acionamento da válvula de admissão de vapor;

- Sempre ocorria a queima do motor de acionamento do soprador devido às péssimas condições das instalações elétricas, principalmente durante as lavagens da fornalha.

3.1.5 Lavagem interna da caldeira

As novas caldeiras de recuperação química são projetadas de maneira tal que, a lavagem só seja realizada durante as paradas gerais anuais para atender a NR-13.

No caso da caldeira de recuperação química A essa lavagem ocorria praticamente todos os meses, devido à alta carga de queima de licor preto que entupiam as passagens de gases, provocando a redução da produção ou até mesmo a parada total da unidade fabril por pelo menos 12 a 20 horas. Um meio de saber o momento da lavagem da caldeira era quando ocorriam diversas paradas de emergência por causa da pressão alta da fornalha.

3.1.6 Queima de licor preto

Os problemas principais e constantes que ocorriam com a caldeira de recuperação química A com relação à queima do licor preto foram:

-Constantes entupimentos do bico queimador de licor preto ou até mesmo a falta de licor proveniente do entupimento da peneira do tanque de mistura de cinzas. O corte inesperado na queima de licor era um dos grandes causadores do escorrimento excessivo de fundido na bica de fundido;

-Houve vários casos de entupimento da sucção das bombas do ciclone e do tanque de mistura, provocando a falta de licor preto para o queimador de licor preto;

-Constantes quebras dos braços horizontal e vertical do oscilador do queimador de licor. Neste caso era necessário reduzir ou parar a queima de licor de preto;

-Como a queima era oscilatória, havia grande variação na pressão da fornalha e do nível do tambor de vapor. Neste caso provocando várias paradas de emergência da caldeira.

3.1.7 Instalações elétricas

Um dos grandes fatores de parada de emergência da caldeira de recuperação química A sem sombra de dúvidas foi as péssimas condições das instalações elétricas. Como exemplo, pode-se citar a falta de coordenação e seletividade dos equipamentos de proteção, tais como, disjuntores e relés.

3.2 Caldeira de recuperação química B

A caldeira de recuperação química B pode ser descrita em dois momentos: pré e pós-caldeira. Na fase de pré-caldeira estão incluídos desde a preparação do solo, construção até os testes operacionais. Já no segundo momento, quando a caldeira está em operação, pode-se destacar as grandes dificuldades que ocorrem com o perfeito funcionamento dos equipamentos auxiliares da caldeira e as soluções encontradas para tais eventos (COSTA, 2006 a 2007).

3.2.1 Eventos pré-caldeira

A caldeira de recuperação química B começou a ser construída em setembro de 2005 com o prazo final para a entrada em operação queimando licor preto para junho de 2006 conforme o cronograma do contrato de construção da caldeira.

Os principais eventos que ocorreram na caldeira neste período estão descritos nos itens abaixo:

3.2.1.1 Setembro/2005 a fevereiro/2006

Os principais eventos que ocorreram na caldeira neste período foram:

- Preparação do terreno para sustentar a estrutura da caldeira;
- Montagem da caldeira e de seus equipamentos auxiliares. Todas as partes da caldeira foram fabricadas e pré-montadas nos respectivos fabricantes.

3.2.1.1 Março/2006

Os principais eventos realizados na caldeira neste período foram:

- Lavagem química dos tubos da caldeira;
- Sopragem das linhas de vapor para limpeza.

3.2.1.2 Abril/2006

Os principais eventos e ocorrências na caldeira neste período foram:

- Inspeção e limpeza do tambor de vapor;
- Sopragem das linhas de vapor para limpeza;
- Foram feitos os testes de abertura das válvulas de segurança do tambor e da linha principal de vapor. Durante os testes rompeu a linha de descarga da válvula de fluxo mínimo, desde a saída da válvula até a entrada do silenciador. No momento a válvula de fluxo mínimo estava com 30 % de abertura;
- Foram feitos os testes de funcionamento dos sopradores de fuligem;
- Foram feitos os testes do raspador de fundo, correntão principal e válvula rotativa do precipitador eletrostático;
- Vários desarmes do ventilador exaustor de gases por falha no inversor de frequência;

3.2.1.3 Maio/2006

Os principais eventos e ocorrências na caldeira neste período foram:

- Foram feitos todos os testes elétricos e mecânicos com os equipamentos auxiliares do tanque dissolvedor como os agitadores, densímetro, bombas de transferência, bombas de circulação, inspeção nos bicos de pato, nos chuveiros e inspeção nas linhas para verificar possíveis falhas nas soldas;
- Foram feitos os testes de velocidade máxima dos ventiladores de ar primário, ar secundário e ar terciário e inspeção nos inversores de frequência;

-A caldeira entrou em operação normal queimando somente óleo combustível.

3.2.1.4 Junho/2006

Os principais eventos e ocorrências na caldeira neste período foram:

-Foram sanados todos os vazamentos nas soldas e das linhas de vapor, água, condensado, licor verde e licor branco;

-Foi testada a turbobomba de água de alimentação;

-Foi colocada a caldeira para operar em paralelo com as outras caldeiras de força e foi iniciada a queima de licor. Porém devido a problemas no controle de temperatura, foi cortada a queima de licor e parada a caldeira.

3.2.2 Eventos pós-caldeira

Todos os eventos que ocorreram a partir do dia 20 de junho de 2006 são considerados eventos pós-caldeira. Serão consideradas as principais dificuldades e melhorias operacionais que aconteceram na caldeira após esse período até 31 de dezembro do mesmo ano. Os principais eventos e ocorrências na caldeira neste período foram (COSTA, 2006):

-Dificuldades no controle de temperatura do licor preto de queima. A solução foi aumentar o furos do aquecedor de licor e calibrar a válvula controladora de temperatura;

-Houve várias paradas de emergência da caldeira devido ao desvio de licor devido à variação nos refratômetros que são equipamentos de monitoramento da concentração do licor preto de queima. Sempre são realizadas as calibrações nos refratômetros.

-Houve vários desarmes dos sopradores de fuligem por sobrecorrente e mal contato dos cabos de alimentação do motor. Neste caso foram reapertados todos os bornes tanto da parte de força como a de comando dos motores dos sopradores. Foram feitos também as

revisões nos fim-de-curso limite de avanço e recuo dos sopradores. No caso dos sopradores 1, 2 e 3 que utilizam inversores de frequência foram parametrizadas suas configurações.

-Houve vários desarmes de todos os campos elétricos do precipitador eletrostático por sobrecorrente. Para resolver esse problema foram parametrizadas as configurações dos controladores de tensão e corrente dos campos. Também houve vários casos de desarme do arrastador principal de cinzas do precipitador. Neste caso foi feito um reforço no pino de segurança do redutor do arrastador.

-Houve vários casos de parada de emergência da caldeira por desarme por sobrecorrente dos ventiladores de ar primário, secundário e terciários e do ventilador exaustor de gases. Neste caso foram substituídos todos os inversores de frequência.

-Houve vários de casos de atraso ao reiniciar a caldeira após uma parada de emergência devido as dificuldades de acendimentos dos queimadores de óleo. Neste caso foram trocadas todas as fotos-células, todos ignitores e difusores. Todas as vezes que começar a ter uma certa dificuldade no acendimento dos queimadores de óleo há a necessidade de fazer essas substituições.

-Sempre que acontecia um desarme da caldeira por falta de energia elétrica, havia a necessidade de rearmar o disjuntor principal do CCM (centro de controle de motores). Neste caso foi parametrizado o disjuntor.

-Houve vários casos de travamentos dos vários agitadores dos tanques auxiliares, válvulas rotativas e roscas extratoras da caldeira devido a várias peças deixadas durante a montagem da caldeira como parafusos e pedaços de ferro.

-Com relação a parte operacional, percebeu-se a rápida adaptação dos operadores com o novo sistema de controle. Desta maneira houve poucas paradas de emergência da caldeira por falhas operacionais, principalmente em relação ao controle de nível do tambor de vapor.

-Em algumas paradas por falta de energia, houve o entupimento de parte da linha de licor preto de queima. Para resolver esse problema foi colocada linha de traço e feito o isolamento térmico de toda a linha de licor de queima.

-Houve um caso de suspeita da bica de fundido estar furada. Neste caso foi reposicionado o chuveiro de alcalina das bicas de fundido. Os chuveiros de alcalina das bicas estavam obstruídas com lama de cal o que dava a impressão da bica estar furada.

-Houve vários problemas com a partida da turbobomba devido a pressurização da bomba e vazamentos de óleo pelos mancais. Foram feitas revisões nas válvulas de bloqueio de vapor e modificado o sistema de lubrificação.

-Houve várias paradas de emergência da caldeira por falta de informações sobre intertravamentos elétricos dos equipamentos. Neste caso foi dado treinamento para os operadores e para os eletricitistas e instrumentistas.

-Houve vários casos de parada de alguns limpadores das vigias de ar por problemas na válvula solenóide. Neste caso foi intensificado as manutenções preventivas.

-Houve sérios problemas em relação ao controle de temperatura do vapor superaquecido em decorrência da alta temperatura do vapor devido ao sobre-dimensionamento do superaquecedor secundário. Neste caso foi eliminado parte dos tubos do superaquecedor secundário.

3.3 Principais diferenças no projeto entre as caldeiras de recuperação química A e B

Para demonstrar as principais diferenças entre a caldeira de recuperação química A e a caldeira de recuperação química B demonstra-se nas Tabelas 5 e 6 os dados mais relevantes.

Tabela 5 – Dados técnicos das caldeiras de recuperação química A e B (GOTAVERKEN, 1981)
(CBC, 2006)

Dados	Caldeira de recuperação A (Antiga)	Caldeira de recuperação B (Nova)
Fabricante	Gotaverken	CBC
Ano de Fabricação	1981	2005
Capacidade de queima	140 tss/d	400 tss/d virgem
Concentração licor preto	62 %	75 %
Geração de vapor	25 t/h	74 t/h
Pressão de trabalho	2 MPa	4,2 MPa
Tipo de vapor:	Saturado	Superaquecido
Temperatura do vapor	190 °C	400 °C
Economizador	Não	Sim
Precipitador Eletrostático	Não	Sim
Lavador de gases	Não	Sim
Drenagem rápida de emergência	Não	Sim

Tabela 6 – Comparativo da operação das caldeiras de recuperação química A e B (LIMA, 2006 a 2007)

Dados	Caldeira de recuperação A (Antiga)	Caldeira de recuperação B (Nova)
1 - Geração específica de vapor.	2,48 t vapor / tss.	4,36 t vapor / tss.
2 - Eficiência de recuperação de soda.	78,0%.	92,0%.
3 - Reposição de soda cáustica.	625 t NaOH/mês.	240 t NaOH/mês.
4 - Reposição de enxofre.	148 t S/mês.	40 t S/mês.
5 - Dependência de energia elétrica da Concessionária.	29%.	5%.
6 - Dependência de "energia" externa (biomassa para as caldeiras + item 5).	38%.	24%.

Conforme pode-se observar na Tabela 5 e já comentado no início deste trabalho, é com relação a maior capacidade de queima da caldeira de recuperação química B, que é de aproximadamente 3 vezes mais que a caldeira de recuperação A. Com esse aumento na capacidade de queima houve vários ganhos para a indústria, sendo uma delas a necessidade do envio do excesso de licor preto para outras fábricas, com o ônus do transporte mais a reposição de soda. Com relação ao meio-ambiente, evitou-se os riscos do transporte

rodoviário desse excesso de licor. Ainda com relação ao meio-ambiente verifica-se a existência de um precipitador eletrostático e um lavador de gases na caldeira de recuperação B, o que não existia na caldeira A.

Outro ponto importante a ser destacado é com relação a concentração final do licor preto de queima, que na caldeira de recuperação B é próximo de 75% o que garante maior eficiência térmica para a caldeira conforme se verifica na Tabela 6 e maior segurança de operação, já que o limite mínimo da concentração do licor preto para queima é de 58% de sólidos secos. Conforme observa-se, a caldeira de recuperação B queimava o licor bem próximo desse limite o que em algumas ocasiões veio a ocorrer, sendo necessário o desvio de licor de maneira manual, devido a caldeira não possuir um sistema de segurança.

Com o objetivo de aumentar a geração de energia elétrica própria, pode-se visualizar na Tabela 5 que a geração de vapor da caldeira de recuperação B é de aproximadamente 73 t vapor/h além de ser vapor superaquecido e com pressão de 4,2 MPa, aproximadamente 3 vezes mais geração de vapor que a caldeira A que gerava vapor saturado com pressão de 2 MPa.

Com relação aos equipamentos auxiliares verifica-se ainda na Tabela 5 a falta de economizador e superaquecedor na caldeira de recuperação A, o que garante a caldeira B uma melhor geração específica, conforme verifica-se na Tabela 6.

Verifica-se na tabela 6 a maior recuperação de soda na caldeira de recuperação química B, o que garante menor reposição de soda cáustica para o processo, demonstrando-se assim, maior eficiência na utilização dos recursos naturais.

Também pode-se verificar na Tabela 6 que com a substituição da caldeira de recuperação química A, houve o aumento da geração de vapor superaquecido e conseqüente aumento na geração de energia própria tendo em vista a menor dependência de energia elétrica da concessionária.

Outro ponto importante verificado é a melhor eficiência na recuperação de soda e enxofre no processo após a substituição da caldeira A, o que verifica-se também a menor reposição de soda cáustica e enxofre.

3.4 Principais diferenças dos componentes auxiliares e das recomendações de segurança da BLRBAC das caldeiras de recuperação química A e B

Como existem várias diferenças nos vários componentes auxiliares das caldeiras de recuperação químicas em estudo, abaixo foram listadas as de maior relevância:

3.4.1 Sistema de cinzas químicas

Caldeira de recuperação química A: O único ponto existente para recuperação das cinzas está no duto de gases antes do ciclone.

Caldeira de recuperação química B: A cinza volante é coletada nas tremonhas localizadas sob o evaporador e o economizador da caldeira e através do raspador de fundo do precipitador eletrostático. Na Figura 12 pode-se visualizar o arrastador principal de cinzas que coleta as cinzas provenientes do evaporador e do economizador de alta e baixa temperatura.



Figura 12 – Arrastador principal de cinzas da caldeira de recuperação química B

3.4.2 Aquecedor de licor preto

Caldeira de recuperação química A: Não existe. O licor preto de queima é aquecido diretamente no tanque de mistura de cinzas causando a inconveniência da limitação de temperatura devido à possibilidade do transbordo do tanque.

Caldeira de recuperação química B: Utiliza um aquecedor do tipo direto instalado na linha que consiste de um corpo externo que é um tubo de aço e os elementos de aquecimento de licor são dois tubos possuindo furos de 1,6 mm. Os tubos possuem arranjo paralelo e seus furos são distribuídos de tal forma a permitir melhor mistura vapor/ licor. Na Figura 13 pode-se visualizar o aquecedor do tipo direto da caldeira.



Figura 13 – Aquecedor de licor preto do tipo direto da caldeira de recuperação química B

3.4.3 Equipamentos de atomização de licor preto

Caldeira de recuperação química A: Consiste apenas de um queimador de licor preto do tipo oscilante localizado na traseira da caldeira. Uma das desvantagens desse tipo de sistema é que o licor é jogado nas paredes da fornalha para haver a secagem do licor. Outra desvantagem é o grande arraste de partículas com os gases da combustão.

Caldeira de recuperação química B: O sistema de atomização de licor consiste de 6 (seis) lanças através das quais o licor é injetado para dentro da fornalha. As lanças são do tipo queima estacionária, arranjadas 3 (três) em cada parede lateral, a fim de aproveitar ao máximo o volume da fornalha para secagem. O conjunto é provido de articulação e redutor, projetados de modo que as lanças possam ser ajustadas em 5 graus para cima e 10 graus para baixo, conforme as condições de queima. A fim de obter posicionamento angular e melhor condição de ajuste no plano vertical, o comprimento da haste de ligação também é ajustável. Na Figura 14 pode-se visualizar os 3 queimadores de licor da caldeira.



Figura 14 – Queimadores de licor preto da caldeira de recuperação química B

3.4.4 Sistema de ar

Caldeira de recuperação química A: É constituída de um mesmo ventilador para o sistema de ar primário e para o ar secundário. O ventilador de ar terciário é independente. O ar primário é introduzido nas quatro paredes da fornalha, pouco acima do fundo da fornalha. Já o ar secundário é introduzido nas duas paredes laterais e na parede frontal da caldeira é fica no nível da lança queimadora de licor. No caso do ar terciário é introduzido pelas duas paredes laterais.

Caldeira de recuperação química B: É constituída de um ventilador para cada nível de ar (primário, secundário e terciário). O ar primário é introduzido através de aberturas localizadas nas quatro paredes, pouco acima do fundo da fornalha. O ar secundário é introduzido horizontalmente através de aberturas localizadas nas paredes laterais da fornalha, aproximadamente 1,2 metros acima das aberturas para ar primário. O ar terciário é introduzido através de aberturas localizadas nas paredes frontal e traseira, aproximadamente 2,5 metros acima das aberturas para lanças de licor preto. Na Figura 15 pode-se visualizar os ventiladores de ar forçado primário e secundário da caldeira.



Figura 15 – Ventiladores de ar primário e secundário da caldeira de recuperação química B

3.4.5 Sistema de dissolução de fundido

Caldeira de recuperação química A: É constituída dos seguintes componentes: 1 tanque dissolvedor; 1 bica de fundido do tipo faceada; 2 agitadores do tipo horizontal; 2 bombas de transferência de licor verde (transferência através de transbordo); 1 bomba de circulação de licor verde; 1 bico de pato; 2 fragmentadores do tipo horizontal (1 principal e 1 de emergência); 1 transbordo; Sistema de limpeza das linhas de transferência de licor verde através de condensado.

Caldeira de Recuperação B: É constituída dos seguintes componentes: 1 tanque dissolvedor; 2 bicas de fundido do tipo inserida; 2 agitadores com selagem de licor branco franco; 2 bombas de transferência de licor verde (transferência com opção do transbordo e fundo do tanque); 2 bombas de circulação de licor verde; 2 bicos de pato; 2 fragmentadores do tipo vertical em cada uma das bicas de fundido; 1 transbordo; Sistema de limpeza das linhas de licor verde com licor branco fraco (alcalina); Controle de densidade; Transmissor de nível; Indicador de nível local do tipo régua; Transmissor de temperatura; Indicador de temperatura local; Sistema para lavagem dos gases do tanque dissolvedor; Sistema para derrubada de pedras do teto do tanque dissolvedor. Na Figura 16 pode-se visualizar o tanque dissolvedor da caldeira.



Figura 16 – Tanque dissolvedor da caldeira de recuperação química B

3.4.6 Sistema de controle

Caldeira de recuperação química A: Utiliza o controle do tipo sinótico. Pode-se visualizar esse tipo de controle da caldeira em questão através da Figura 17.

Caldeira de recuperação química B: Utiliza o controle do tipo SDCD (sistema digital de controle distribuído). Pode-se visualizar esse tipo de controle da caldeira em questão através da Figura 18.



Figura 17 – Sala de controle da caldeira de recuperação química A

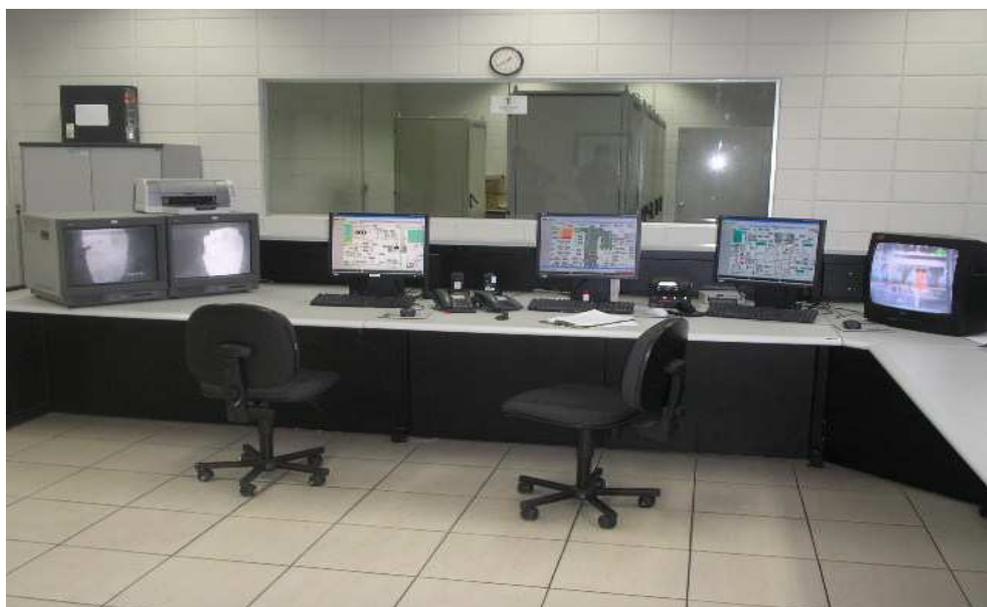


Figura 18 – Sala de controle da caldeira de recuperação química B

3.4.7 Lavador de Gases

Caldeira de recuperação química A: Não existe.

Caldeira de recuperação química B: No intuito de preservar o meio ambiente, esta caldeira é provida de um lavador de gases instalado em paralelo à chaminé de exaustão de gases do tanque dissolvedor. Na Figura 19 pode-se visualizar o lavador de gases da caldeira.



Figura 19 – Lavador de gases da caldeira de recuperação química B

3.4.8 Equipamentos de remoção de fuligem e escória

Caldeira de recuperação química A: A caldeira está equipada com 6 sopradores de fuligem do tipo retráteis. Os sopradores 1 e 4 estão localizados na região onde existia o economizador, e os sopradores 2, 3, 5 e 6 estão localizados na região da cortina d'água. A operação dos sopradores no módulo automático segue sempre a seguinte seqüência: 1, 2, 3, 4, 5 e 6, sendo possível também à operação em manual. Devido ao risco do contato água/fundido, as linhas de vapor para alimentação dos sopradores de fuligem utilizam purgadores para drenagem do condensado.

Caldeira de recuperação química B: A caldeira está equipada com 22 sopradores de fuligem. Os sopradores 1 ao 8 estão localizados na região do superaquecedor. Os sopradores 9 ao 14 estão localizados na região do Evaporador. Os sopradores 15 ao 22 estão distribuídos

entre os economizadores de alta e baixa temperatura. Na Figura 20 pode-se visualizar alguns sopradores da caldeira.



Figura 20 – Sopradores de fuligem da caldeira de recuperação química B

3.4.9 Controle de nível do tambor

Caldeira de recuperação química A: Principais componentes do controle de nível do tambor: 2 visores de nível local com visualização através de uma câmera; Controle de nível a três elementos utilizando um controlador de fabricação yokokawa; Monitoração do nível do tambor independente do controle de nível; Alarme de nível baixo e alto; Utiliza duas bombas com acionamento elétrico para a alimentação de água no tambor (uma reserva); No caso de falta de energia há a possibilidade de manter o nível do tambor através da linha de emergência proveniente da caldeira de biomassa 1.

Caldeira de recuperação química B: Principais componentes do controle de nível do tambor: 2 visores de nível local; Controle de nível a três elementos via SDCD; Monitoração do nível do tambor independente do controle de nível; Alarme de nível baixo e alto; Utiliza duas bombas para alimentação de água. Uma com o acionamento elétrico e a outro do tipo

turbobomba com o vapor de alimentação de 4,2 MPa reduzido para 0,52 MPa. Na Figura 21 pode-se visualizar o tambor de vapor da caldeira.

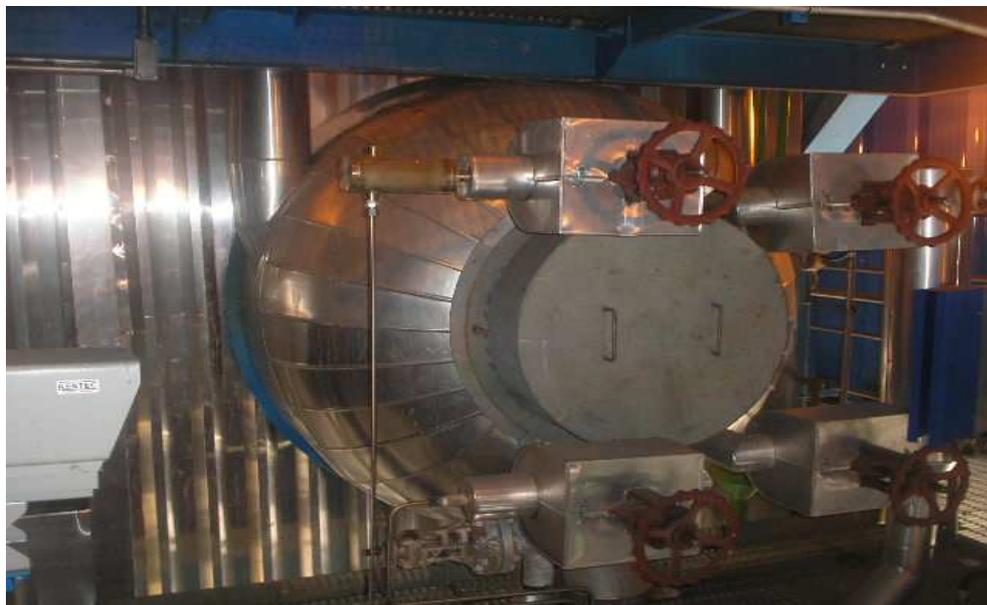


Figura 21 – Tambor de vapor da caldeira de recuperação química B

3.4.10 Segurança na operação das caldeiras de recuperação química

Os problemas de segurança em caldeiras de recuperação química, se comparado a outras caldeiras, são similares, mas agravados pelos riscos de explosão pelo contato de fundido com água no interior da fornalha. A necessidade de segurança e operação confiável diante dos riscos especiais tem uma importância significativa nos procedimentos de operação.

Na América do Norte, ocorreram nos últimos anos mais de 140 explosões de caldeiras de recuperação química devido ao contato da água com o fundido.

A violência destas explosões tem causado desde pequenos danos até explosões (BLRBAC, 2004) que causaram danos físicos e até a morte de pessoal envolvido. Ocorrem, também, centenas de paradas de emergências causadas pelo perigo eminente de explosão. A frequência das explosões permanece como uma constante e o problema não pode ser considerado como resolvido.

As explosões fundido-água são explosões físicas causadas pela geração de fundido. A expansão do volume na vaporização causa um aumento rápido da pressão gerando uma onda de choque que leva a uma explosão de energia. Estima-se que 450 g de água vaporizando a 0,001 s (1 milésimo de segundo) libera o equivalente de energia mecânica de 225 g de TNT (trinitrotolueno).

As explosões nas fornalhas de recuperação envolvem, tipicamente, de 2 a 10 kg de água e equivalem à explosão de diversos quilos de TNT. O fator mais importante e determinante da violência da explosão e dos danos à fornalha é a quantidade de água envolvida.

Amplas pesquisas de laboratório das explosões de fundido-água mostraram que o potencial de explosão depende de muitas variáveis, entre elas: a composição do fundido e do líquido, as temperaturas e a geometria do contato. Não se dispõe, até o momento, de nenhum método de operação da fornalha de recuperação que seja imune às explosões de fundido-água, nem mesmo pela modificação da composição do fundido ou da química da água na Caldeira. A única forma conhecida para evitar esse tipo de explosão é evitar o contato do fundido com água.

A causa mais comum da entrada de água na fornalha é o vazamento dos tubos (falhas nas partes de pressão). Falhas dos tubos do fundo, da parede e da cortina de água, constituem os problemas mais sérios. Falhas nos tubos do banco gerador podem resultar na entrada de água na fornalha dependendo da localização do vazamento. As falhas nos tubos do economizador normalmente, não oferecem risco de explosão porque não há caminho direto entre o ponto da falha e o interior da fornalha. Os vazamentos do superaquecedor não são normalmente um risco de explosão devido à presença de vapor ao invés de água. Superaquecimento, problemas de solda, corrosão, danos mecânicos e fadiga por vibração são algumas das causas de falhas nos tubos.

O teor de sólidos baixo no licor preto é a segunda maior fonte de água nas explosões fundido-água. A BLRBAC - recomenda que o licor preto não seja queimado abaixo da concentração mínima de 58% de sólidos. Atualmente, a maioria das caldeiras de recuperação química tem sistemas para o desvio do licor preto da fornalha quando o licor cai abaixo do valor mínimo de sólidos. Refratômetros são instalados (2) para medição da concentração e o desvio é feito quando em um deles a concentração atinge o mínimo setado.

A concentração de sólidos no licor preto pode diminuir em função de problemas no evaporador e no concentrador, diluição excessiva ou adição de algum fluxo perdido, vazamento dos selos, vazamentos nas partes de pressão que drenam para o sistema de licor pelos funis, aquecedores de licor a vapor, diluição pelas conexões de água de lavagem e diluição durante a lavagem do sistema de licor preto ou auxiliares. Se houver uma emergência com risco eminente de haver o contato fundido-água, deve-se executar uma parada de emergência da caldeira. O procedimento de parada de emergência (ESP), recomendado pela BLRBAC, visa à parada imediata do processo de combustão.

A drenagem rápida visa minimizar a quantidade de água que pode entrar em contato com o fundido na fornalha. Ao completar o dreno rápido, a pressão do vapor é aliviada o mais rápido possível, para reduzir a taxa de vazamento se o mesmo estiver abaixo do nível de 2,4 m. O dreno rápido das Caldeiras de Recuperação tem, sem dúvida, evitado um grande número de explosões fundido-água. Diversas paradas de emergência foram executadas e a maioria não resultou em explosões.

O BLRBAC surgiu nos Estados Unidos em janeiro de 1962 em função do interesse de um grupo de profissionais (representantes das indústrias, fornecedores de Caldeiras e companhias de seguro) em buscar alternativas para diminuir o número de incidentes e melhorar a segurança com as caldeiras de recuperação química, através de intercâmbio de conhecimentos técnicos, experiências e dados anteriores ou futuros sobre as casualidades. Então, em 1968, o

comitê designou o “Instrumentation Subcommittee – Subcomitê de Instrumentação” para desenvolver as recomendações para instrumentação para operação segura das caldeiras de recuperação química de licor preto mantendo-se atualizadas com o estado da arte.

O propósito desta “prática recomendável” é providenciar diretrizes ao projeto, à instalação e à operação dos sistemas de controles das caldeiras de recuperação química e, também, contribuir na segurança das operações. Tem-se compreendido que nenhuma recomendação pode ser divulgada como garantia na eliminação das explosões na fornalha. Nesta área, a tecnologia encontra-se em contínuo desenvolvimento.

Estas recomendações basearam-se no atual estado da arte e, por isso, não pode ser aplicável, em sua totalidade, às instalações e aos projetos mais antigos. Foram considerados que o número de pessoal na operação, a proximidade do operador aos controles da caldeira de recuperação química, ou se existe uma sala de controle à distância, etc., possam influenciar sobre os requisitos para outros instrumentos ou sistemas de controle por instrumentos. Concordantemente recomenda-se que a divisão de operação proceda uma revisão nesta “prática recomendável” e possa adotar tais características conforme sejam aplicáveis e adequadas às instalações existentes.

As atuais caldeiras de recuperação química de licor preto demandam por necessidades de serviço, operação, queima de combustível em margens de segurança e confiança. Conseqüentemente, a instrumentação selecionada deve passar por uma escolha com discriminação deliberada.

Em circunstância, não se pode deixar de dar ênfase a importância de uma manutenção adequada, limpeza, secagem, disponibilidade de ar bem regulado e fonte de eletricidade ajustada e de confiança. Por melhor que seja a qualidade da instrumentação, pode torna-se insignificante na falta destas atenções essenciais.

Esta “prática recomendável” pretende funcionar como um guia e como uma lista de conferência para propor ferramentas próprias que promovam segurança e prolongado funcionamento da unidade. Não pretende propor “hardware” específico, mas recomendar as funções desejadas para a operação adequada da unidade.

Para operar com segurança uma caldeira de recuperação química de licor preto, são essenciais: treinamento detalhado de operação, manutenção cuidadosa e o estabelecimento de confiáveis procedimentos de paradas de emergência.

Como requisito básico para garantir a boa prática na instrumentação e aspectos de controle das caldeiras de recuperação química, cada fábrica deve preparar e manter uma documentação dos instrumentos e sistemas de controle para cada caldeira. A documentação deve ser precisa e completa em cada detalhe, definindo a localização e conexões de todos os instrumentos e elementos de controle. Devem ser incluídas todas as informações relevantes à operação. Esta documentação promoverá a base para a análise do sistema, atualização técnica e avaliação dos riscos.

Todas as alterações subseqüentes ocorridas no sistema devem ser autorizadas, no mínimo, por um superintendente departamental ou gerencia da fábrica e a documentação deve ser atualizada. A avaliação dos riscos deve ser executada antes de qualquer alteração no sistema.

Esta “prática recomendável” representa um esforço para prover documentação, pelo menos, aceitável na prática industrial e não deve ser interpretada de maneira nenhuma como substituto de procedimentos específicos, atualmente, praticados pelas empresas de operação individuais.

A CSCRB – Comitê de segurança das caldeiras de recuperação química do Brasil igualmente como a BLRBAC têm como objetivo aumentar a segurança das caldeiras de recuperação química, através do intercâmbio dos conhecimentos técnicos, experiências e

dados estatísticos, adequação das instalações e aperfeiçoamento das práticas operacionais e de manutenção.

Devido ao grande número de recomendações, será feito o comentário das principais, relacionando o que existia na caldeira de recuperação química A com relação o que é aplicado na caldeira de recuperação química B.

3.4.10.1 Sistema de água de alimentação e vapor (BLRBAC, 2004)

A água de alimentação de qualquer caldeira deve receber um tratamento especial com relação ao controle e indicações, pois a falta de água pode trazer prejuízos incalculáveis para a caldeira. As principais recomendações são:

1-Controle de nível do tambor: Sua função principal é manter o nível do tambor de vapor através do controle da vazão de água de alimentação para uma operação segura e estável. Tanto a caldeira de recuperação química A como a caldeira de recuperação química B atendem a esse requisito. Uma falha no controle de nível o recomendado é parar a caldeira.

2-Nível do tambor: Conforme recomendações devem existir no controle das caldeiras de recuperação: registro, indicação, alarme de nível alto e baixo e parada de emergência no caso de nível baixo do tambor de vapor. As duas caldeiras de recuperação atendem a esse requisito.

3-Visor de nível do tambor: Sua função é indicar o nível do tambor de vapor. É uma segurança a mais que os operadores de caldeira possuem para a operação segura da caldeira. Na caldeira de recuperação química A existe um visor local monitorado via câmera. Na caldeira de recuperação química B existem dois visores locais com monitoramento via câmera.

4-Vazão de vapor: É parte do sistema de controle de nível do tambor de vapor e é usado para determinar a carga da caldeira. Nas duas caldeiras de recuperação existem registro, indicação e integração do vapor total produzido no dia. A única diferença é que na caldeira B se a vazão

de vapor for menor que 30% da sua capacidade há a interrupção do licor preto de queima, o que não existe na caldeira A.

5-Vazão de água de alimentação: É parte do sistema de controle de nível do tambor de vapor e é usado para determinar a vazão de água. Nas duas caldeiras de recuperação existem registro, indicação e integração da água de alimentação total consumida no dia.

6-Qualidade da água de alimentação: É recomendado a utilização de pHmêtro, condutivimêtro e oxigênio dissolvido na água de alimentação e descarga contínua da caldeira. Só na caldeira de recuperação química B que são utilizados os pHmêtros e condutivimêtros. Em nenhuma das caldeiras de recuperação são utilizados os medidores de oxigênio dissolvido.

7-Pressão da água de alimentação: É utilizado para medir a pressão da água de alimentação. Essa indicação existe nas duas caldeiras de recuperação.

8-Temperatura da água de alimentação: É utilizado para indicar a temperatura de água de alimentação. Essa indicação existe nas duas caldeiras de recuperação.

9-Pressão da bomba de água de alimentação: É utilizado para medir a pressão na saída das bombas de água de alimentação. Não existente nas duas caldeiras de recuperação.

10-Desligamento da bomba de água de alimentação: É utilizado para monitorar a operação das bombas de água de alimentação numa eventual parada manual ou por sobrecorrente por exemplo. Existe esse sistema nas duas caldeiras de recuperação.

11-Temperatura da água de saída do economizador: É utilizado para medir a temperatura da água de saída do economizador. Existe somente na caldeira de recuperação química B, devido a caldeira de recuperação química A não possuir economizador.

12-Baixo nível do desaerador: Monitora o nível baixo do desaerador. Essa função existe nas duas caldeiras de recuperação.

13-Baixa pressão do desaerador: Monitora a pressão baixa do desaerador. Essa função existe nas duas caldeiras de recuperação.

14-Temperatura de saída do vapor do superaquecedor primário: Monitora a temperatura do vapor após o superaquecedor primário. Existe somente na caldeira de recuperação química B, devido a caldeira de recuperação química A não possuir superaquecedor.

15-Temperatura de saída do dessuperaquecedor: Controla a temperatura do vapor após o dessuperaquecedor. Existe somente na caldeira de recuperação química B, devido a caldeira de recuperação química A não possuir dessuperaquecedor.

16-Temperatura de saída do vapor superaquecido: Controla a temperatura do vapor de saída da caldeira. Existe somente na caldeira de recuperação química B, devido a caldeira de recuperação química A não possuir superaquecedor.

17-Controle de temperatura do vapor superaquecido: Controla a temperatura final do vapor através da variação de carga ou condições de queima. Existe somente na caldeira de recuperação química B, devido a caldeira de recuperação química A não possuir superaquecedor.

18-Fluxo de água para o dessuperaquecedor: Monitora a vazão de água para o dessuperaquecedor. Não existe na caldeira de recuperação química B. Não existe dessuperaquecedor na caldeira de recuperação química A.

19-Pressão de saída do vapor superaquecido: Monitora a pressão do vapor de saída da caldeira. Existe somente na caldeira de recuperação química B, devido a caldeira de recuperação química A não possuir superaquecedor.

20-Pressão do tambor de vapor: Monitora a pressão do tambor de vapor. Existe somente na caldeira de recuperação química B.

21-Válvula de alívio motorizada: É utilizada para aliviar a pressão excessiva do sistema e o fluxo de vapor durante as partidas. Existe somente na caldeira de recuperação química B.

22-Temperatura do metal do superaquecedor e do tambor de vapor: Monitora a temperatura dos tubos durante a partida e operação normal. Existe somente na caldeira de recuperação química B.

23-Monitoramento da temperatura do metal para dreno rápido: Monitora a temperatura interna do metal na região abaixo de 2,4 m durante o dreno rápido. Existe somente na caldeira de recuperação química B.

24-Temperatura de metal das paredes de água: Monitora a temperatura do metal das paredes de água da fornalha. Existe somente na caldeira de recuperação química B.

25-Conductividade do retorno de condensado da fábrica: Monitora a condutividade do retorno de condensado da fábrica. Essa indicação fica na linha de saída do tanque de condensado geral da fábrica e em caso de condutividade alta é feito do desvio.

26-Válvulas de dreno rápido do sistema de parada de emergência: Monitora a abertura das válvulas de drenagem de emergência das caldeiras de recuperação química. Existe somente na caldeira de recuperação química B.

27-Válvulas que devem fechar durante a parada de emergência: Monitora o fechamento de todas as válvulas das linhas de água de alimentação das caldeiras de recuperação química. Existe somente na caldeira de recuperação química B.

3.4.10.2 Sistema de combustível auxiliar e queimadores (BLRBAC, 2004)

Qualquer caldeira de recuperação química para queimar o licor preto necessita que a fornalha esteja com uma temperatura elevada para início do processo de combustão. Na maioria das caldeiras de recuperação química são utilizados óleos pesados ou o gás natural para o aquecimento. Desta maneira é de suma importância que todo o sistema de combustível auxiliar esteja em perfeitas condições. As principais recomendações da BLRBAC e CSCRB para este sistema são:

1-Purga em andamento: Todos os combustíveis que não entram em combustão em uma fornalha aquecida estão sujeitos a formação de gases que com uma pequena ignição podem provocar grandes explosões. Para prevenir tal ocorrência é necessário, principalmente após uma parada de emergência que se faça a purga da fornalha. Esse sistema de purga existe somente na caldeira de recuperação química B.

2-Purga completa: Indicação de purga da fornalha concluída. Após essa sinalização é autorizada a partida da caldeira. Esse sistema existe somente na caldeira de recuperação química B.

3-Parada de queimador individual: Monitora o apagamento dos queimadores em operação normal. Esse sistema existe somente na caldeira de recuperação química B.

4-Fechamento de válvulas de queimador individual: Monitora o fechamento das válvulas de fecho rápido da linha do combustível auxiliar para os queimadores. Esse sistema de monitoração existe nas duas caldeiras de recuperação.

5-Perda de crédito de purga: Monitora possíveis falhas durante a purga da caldeira. Esse sistema existe somente na caldeira de recuperação química B.

6-Falha de chama em queimador ou ignitor individual: Monitora a chama piloto e a chama de operação e em caso de apagamento sinaliza no painel de controle. Esse sistema existe somente na caldeira de recuperação química B.

8-Pressão de gás combustível: Monitora a pressão do GLP (gás liquefeito do petróleo) para a produção da chama piloto. Esse sistema existe somente na caldeira de recuperação química B.

9-Pressão de óleo combustível: Monitora e controla a pressão do óleo de queima. Esse sistema de monitoração e controle existe nas duas caldeiras de recuperação.

10-Temperatura do óleo combustível: Monitora e controla a temperatura do óleo combustível. Esse sistema de monitoração e controle existe nas duas caldeiras de recuperação.

11-Baixa pressão do vapor de atomização de combustível para o queimador: Monitora a pressão do vapor de atomização para a chama principal. Esse sistema existe somente na caldeira de recuperação química B.

12-Baixa pressão do vapor de atomização de combustível para o ignitor: Monitora a pressão do vapor de atomização para a chama principal. Esse sistema existe somente na caldeira de recuperação química B.

13-Energização do sistema dos queimadores: Monitora a energia para os ignitores. Esse sistema existe somente na caldeira de recuperação química B.

14-Baixa vazão de ar para a combustão: Monitora a vazão de ar para a combustão do combustível auxiliar. Esse sistema existe somente na caldeira de recuperação química B.

15-Fornecimento de GNC (gás não-condensável) isolado da fornalha: Não existe em nenhuma das caldeiras de recuperação o sistema de queima de gases não-condensáveis.

16-Parada de emergência ativada: O processo de parada de emergência só existe na caldeira de recuperação química B.

17-Ativação manual da parada completa de queima de combustível: Nas duas caldeiras de recuperação química pode-se fazer a parada manual da queima do combustível.

18-Ativação manual da parada de queima de combustível auxiliar: Nas duas caldeiras de recuperação química pode-se fazer a parada manual da queima do combustível auxiliar.

3.5 Otimizações do processo

Com a entrada em operação da nova caldeira de recuperação química B os gastos com manutenção corretiva praticamente foram zerados tendo em vista a garantia de 2 anos de todos os equipamentos da caldeira.

A caldeira de recuperação química A gastava mensalmente em manutenção corretiva, tanto com equipamentos e mão-de-obra, o equivalente à 300 mil reais.

CAPÍTULO 4

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – AUMENTO DE GERAÇÃO

4.1 Distribuição de vapor e energia elétrica

Em meados de julho de 2004, entrou em operação na fábrica em estudo uma caldeira de biomassa com capacidade de geração de 25 t vapor/h e um turbogerador com capacidade de 10 MW/h. Mesmo com a entrada em operação da nova caldeira de biomassa a quantidade de vapor superaquecido ainda era insuficiente para atingir a capacidade nominal de geração da fábrica. As Figuras 22, 23 e 24 mostram o esquema da distribuição de vapor e energia antes da entrada de operação da caldeira de recuperação química B.

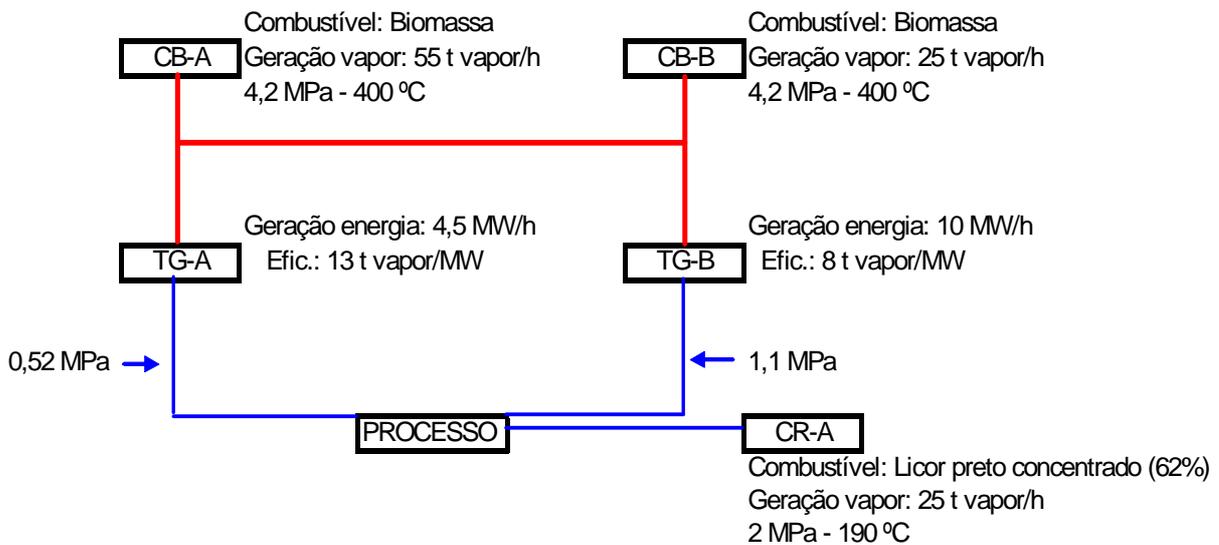


Figura 22 – Distribuição de vapor antes da caldeira de recuperação química B

A Figura 22 mostra em detalhes como era a distribuição de vapor da unidade antes da entrada de operação da nova caldeira de recuperação química B.

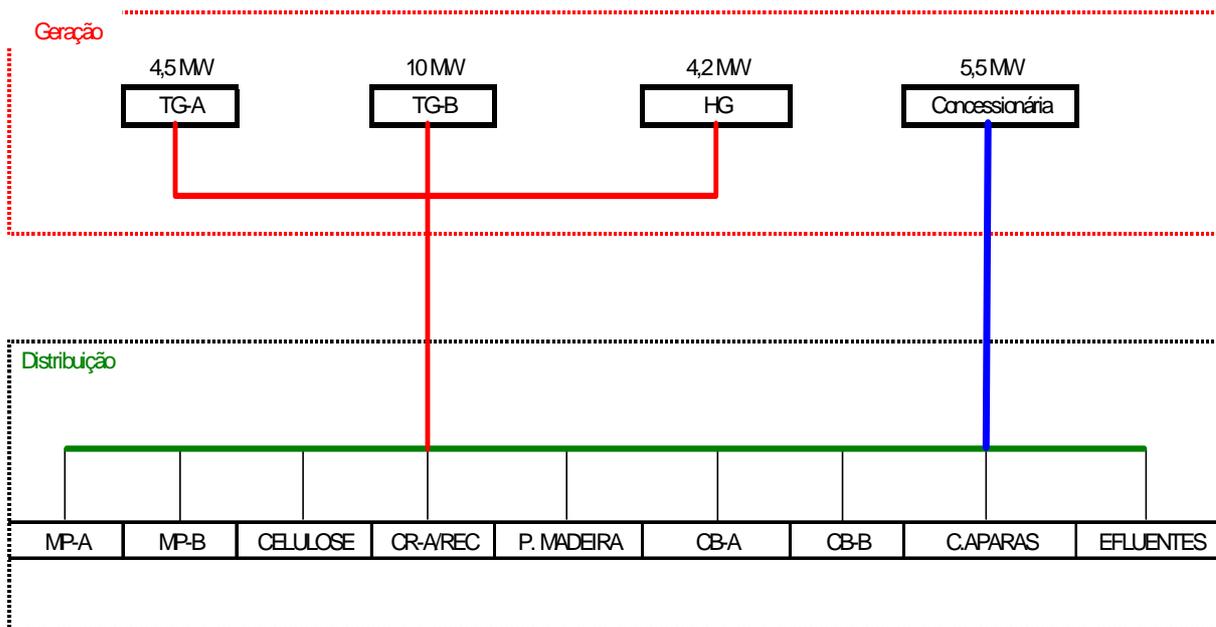


Figura 23 – Distribuição de energia antes da caldeira de recuperação química B

A Figura 23 detalha a distribuição de energia da fábrica antes da entrada de operação da nova caldeira de recuperação química B.

		jan/06	fev/06	mar/06
Geração (MW/h)	TG - A	0	0	0
	TG - B	5,3	5,3	5,6
	HG	3,9	3,9	4
	Concessionária	4,1	3,8	3,5
	Total	13,3	13	13,1
Distribuição (MW/h)	MP - A	2,6	2,4	2,4
	MP - B	4,8	4,5	4,4
	Celulose	1,6	1,6	1,6
	CR - A/RECUPERAÇÃO	1	1	1
	Pátio Madeiras	0,3	0,3	0,3
	CB - A	0,8	0,8	0,8
	CB - B	0,7	0,6	0,7
	C.Aparas	0,9	1,2	1,3
	Efluentes	0,6	0,6	0,6
Total	13,3	13	13,1	

Figura 24 – Geração e distribuição de energia antes da caldeira de recuperação química B

Analisando as Figuras 22, 23 e 24 verifica-se que a capacidade total de geração de energia elétrica própria da unidade é de 18,7 MW/h, o que facilmente pode-se verificar ser

suficiente para atender a demanda da fábrica. O que realmente faltava para a fábrica ser independente na geração de energia elétrica era o vapor superaquecido que em junho de 2006 foi resolvido com a entrada em operação da nova caldeira de recuperação química B.

Após a entrada de operação da caldeira de recuperação química B houve uma mudança na distribuição de vapor e energia da fábrica conforme verifica-se nas Figuras 25, 26 e 27.

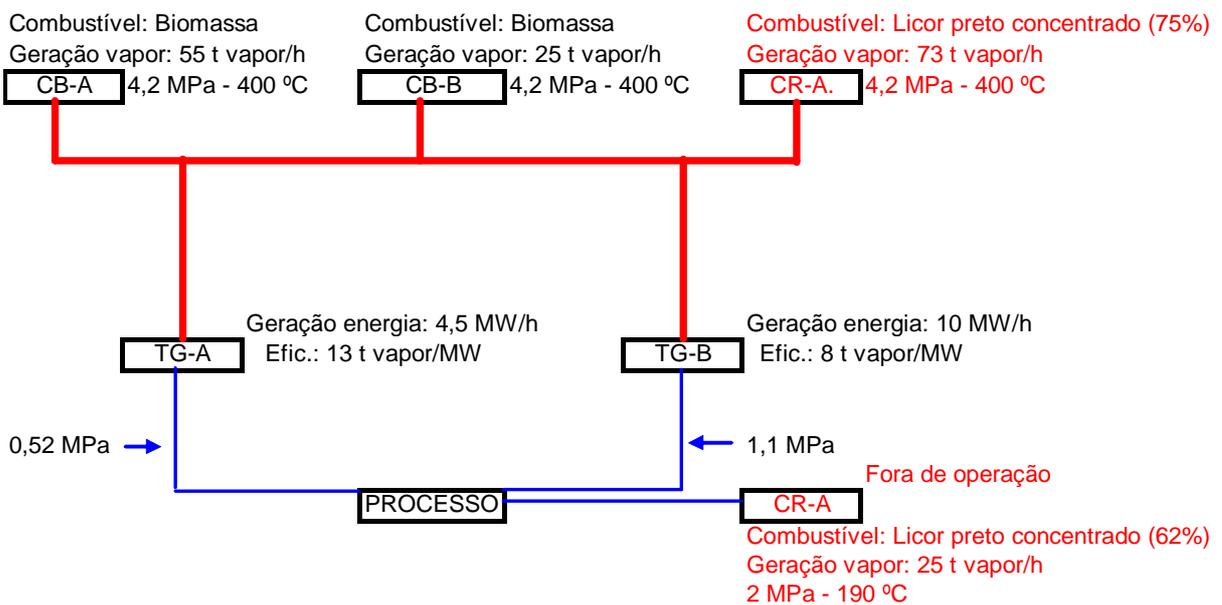


Figura 25 – Distribuição de vapor após a caldeira de recuperação química B

A Figura 25 mostra em detalhes como é a distribuição de vapor da unidade após a entrada de operação da nova caldeira de recuperação química B.

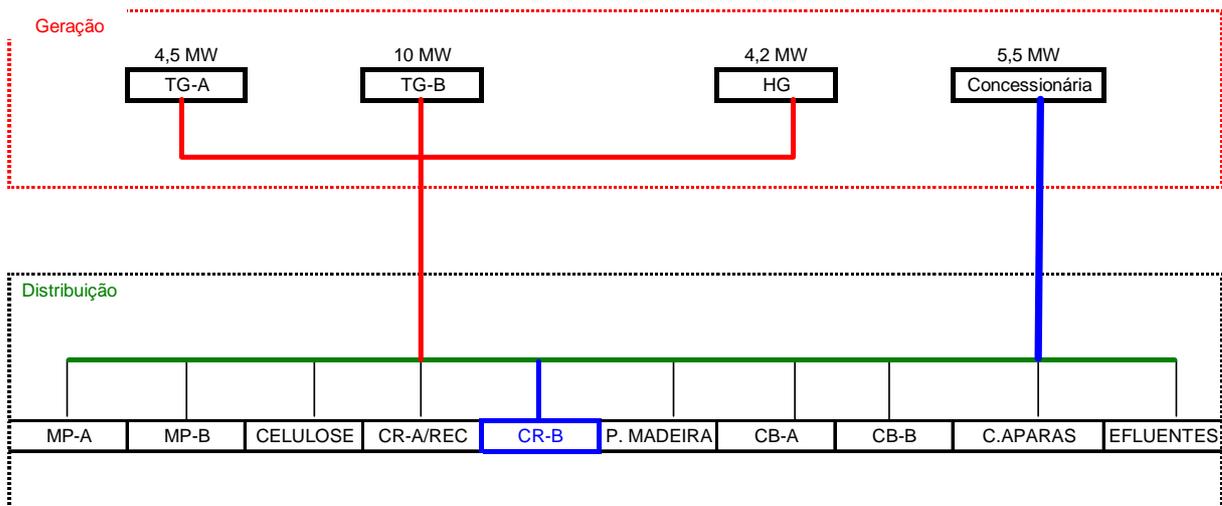


Figura 26 – Distribuição de energia após a caldeira de recuperação química B

A Figura 26 detalha a distribuição de energia da fábrica após a entrada de operação da nova caldeira de recuperação química B.

		abr/06	mai/06	jun/06	jul/06	ago/06	set/06	out/06	nov/06	dez/06
Geração (MW/h)	TG-A	0	0	0	1,5	2,5	2,8	2,6	2,7	2,8
	TG-B	5,9	5,9	6,5	6,8	7,8	6,4	7,2	6,5	7,3
	HG	3,4	3,4	3,2	3,1	2,8	3,5	3,3	3,2	3,8
	Concessionária	4,1	4,1	4,1	2,9	1	1	1	1,7	0,5
	Total	13,4	13,4	13,8	14,3	14,1	13,7	14,1	14,1	14,4
Distribuição (MW/h)	MP-A	2,4	2,4	2,5	2,7	2,5	2,6	2,9	2,7	3,1
	MP-B	4,4	4,4	4,3	4,5	4,4	4,1	4,1	4,1	4,1
	Celulose	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6
	CR-A/RECUPERAÇÃO	1	1	0,8	0,5	0,5	0,3	0,3	0,5	0,3
	CR-B	0,1	0,1	0,7	1,2	1,2	1,4	1,4	1,3	1,4
	Pátio Madeiras	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	CB-A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8
	CB-B	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
	C.Aparas	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5
	Efluentes	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	Total	13,4	13,4	13,8	14,3	14,1	13,7	14,1	14,1	14,4

Figura 27 – Geração e distribuição de energia após a caldeira de recuperação química B

Analisando as Figuras 25, 26 e 27, verifica-se que com a entrada em operação da nova caldeira de recuperação química B a fábrica se tornou auto-suficiente em energia elétrica, sendo ainda utilizada uma pequena demanda da concessionária para os casos de parada total

de emergência dos turbogeradores e hidrogerador e para operação do setor pátio de madeira devido as grandes oscilações provocadas no sistema de potência em virtude do picador de madeiras. Também é utilizada a energia da concessionária quando o nível de água do rio que abastece a usina hidroelétrica e durante as oscilações da queima do licor preto em função de paradas de emergência e/ou programadas do processo.

4.2 Otimizações do processo

Com o aumento da produção de energia elétrica e respectivamente com a redução da energia elétrica comprada conforme verifica-se nas Figuras 28 e 29, houve uma grande economia para a fábrica em estudo da ordem de 370 mil reais mensais. Levando em consideração que a nova caldeira de recuperação química B gera o vapor para a produção de energia elétrica, diferentemente da caldeira de recuperação química A que gerava somente vapor saturado de média pressão que só era utilizado no processo, também houve um ganho da ordem de 300 mil reais se fosse necessário comprar energia elétrica para a nova caldeira de recuperação química B.

Outro fator importante a ser considerado é a disponibilidade de mais ou menos 4,5 MW que após algumas modificações no sistema de distribuição poderão ser vendidos a concessionária local.

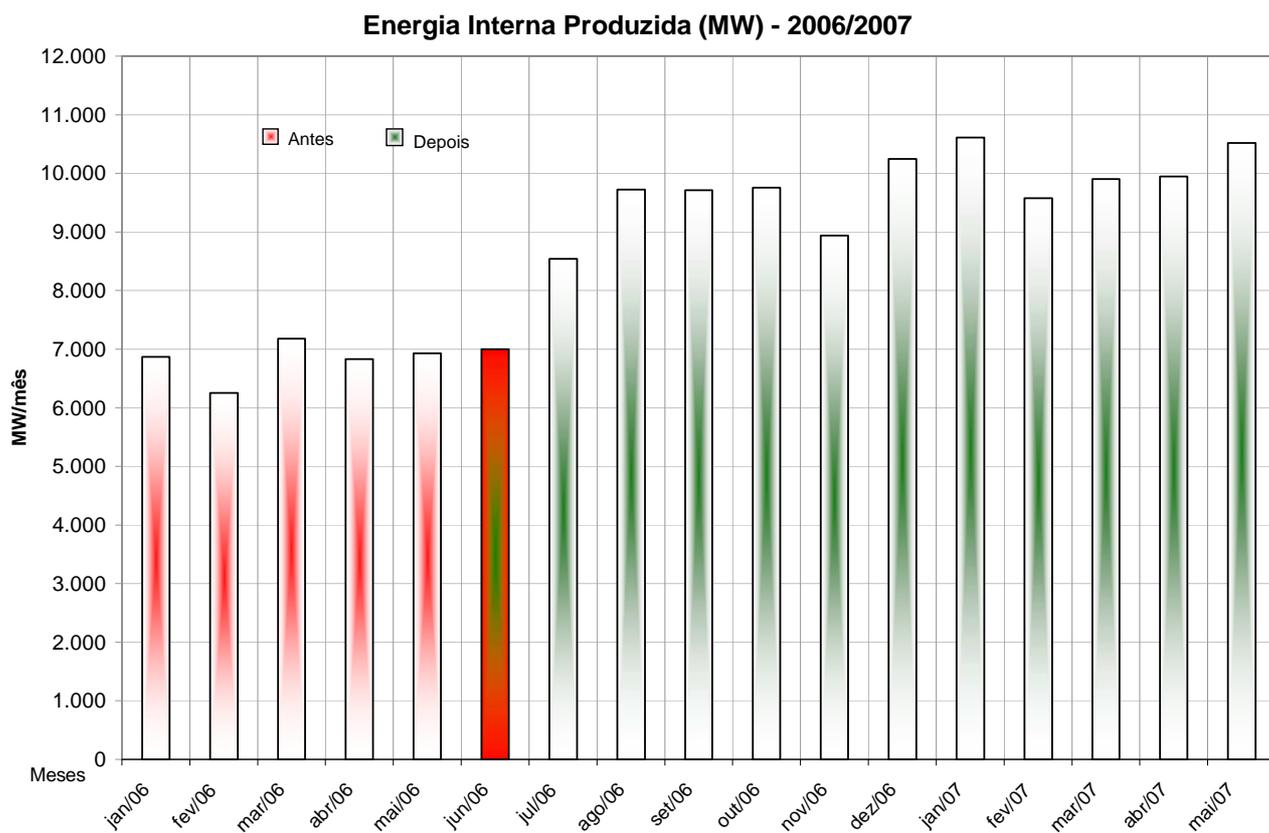


Figura 28 – Energia elétrica produzida

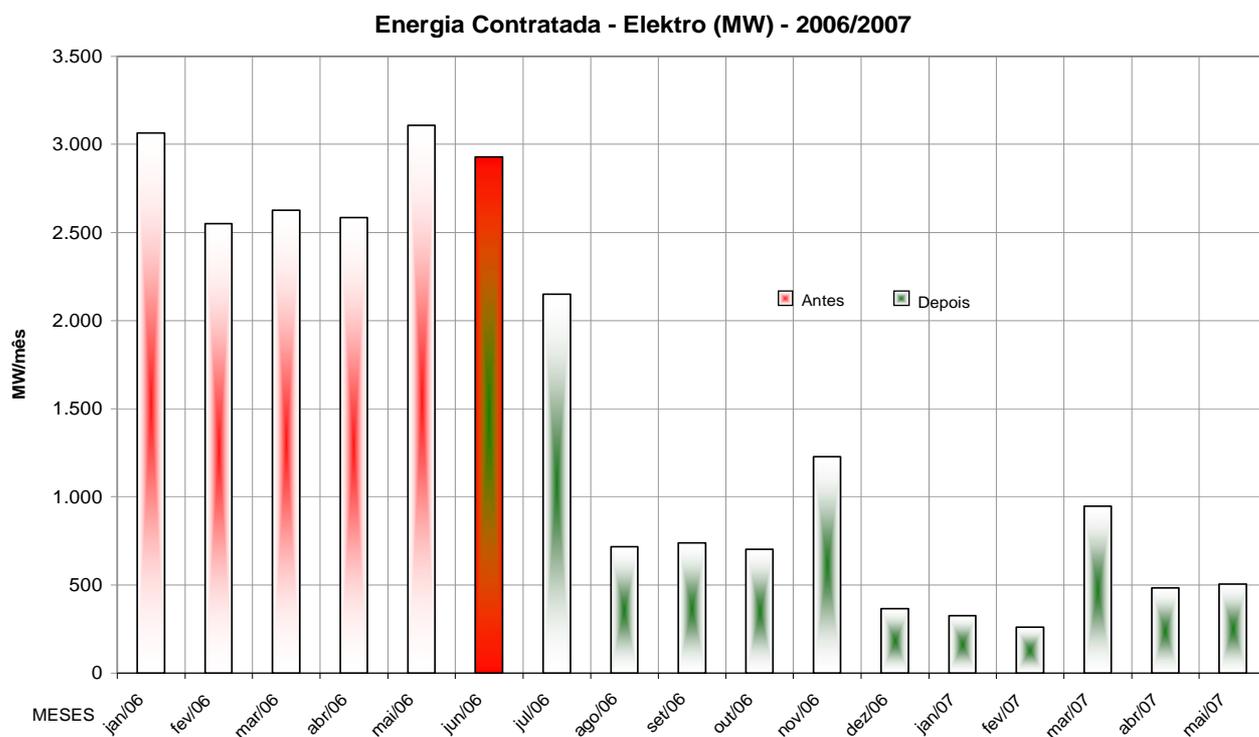


Figura 29 – Energia elétrica comprada

CAPÍTULO 5

DISCUSSÃO FINAL E CONCLUSÕES

5.1 Discussão final

Pode-se dizer que hoje não mais existem razões técnicas para que uma indústria continue a lançar poluentes no ar, graças aos progressos alcançados no projeto de instalações de filtragem e de tratamento de gases e vapores expelidos por processos industriais. Redes de monitoramento, modelos de dispersão e sistemas de medição contínua são alguns dos recursos técnicos disponíveis para assegurar um bom controle da qualidade do ar. Aspectos econômicos, entretanto, podem ainda postergar a eliminação de fontes de poluição do ar, em razão dos custos elevados de muitas dessas instalações.

Eliminar a ineficiência e melhorar a produtividade com prevenção de poluição explicam, sem dúvida, os resultados no aumento de lucros e das reduções das emissões.

Reduzir os desperdícios leva uma empresa a despojar-se de muitos tipos de ineficiência. Quando sobras, substâncias tóxicas ou formas de energia são despejadas no meio ambiente como poluição, isto significa que os recursos não foram utilizados totalmente, efetivamente ou com eficiência.

Adotar uma tecnologia limpa não significa dizer, entretanto, que as instalações de uma indústria existente tenham que ser inteiramente substituídas e sucateadas. Modificações localizadas, introduzidas em alguns setores críticos das instalações, quase sempre são soluções suficientes para a maioria das indústrias já implantadas. Na situação da indústria em estudo, no entanto não bastava somente a instalação de um precipitador eletrostático para atender o termo de conduta ambiental, mas um aumento de capacidade de produção se fazia necessário.

Analisando todas as otimizações do processo verificada nos itens anteriores podemos chegar a seguinte tabela.

Tabela 7 – Otimização do processo pós-caldeira de recuperação B (nova)

Ganho do processo	Gasto pré-caldeira	Gasto pós-caldeira	Economia
Soda cáustica	R\$ 730.000,00	R\$ 290.000,00	R\$ 440.000,00
Enxofre	R\$ 50.000,00	R\$ 13.000,00	R\$ 37.000,00
Energia comprada	R\$ 540.000,00	R\$ 170.000,00	R\$ 370.000,00
Energia comprada para a caldeira	R\$ 370.000,00	R\$ 0,00	R\$ 370.000,00
Óleo BPF	R\$ 300.000,00	R\$ 120.000,00	R\$ 180.000,00
Transporte do licor preto excedente	R\$ 50.000,00	R\$ 0,00	R\$ 50.000,00
Outros (manutenção)	R\$ 200.000,00	R\$ 0,00	R\$ 200.000,00

Analisando a Tabela 7 e considerando que o custo total da instalação da nova caldeira foi de 50 milhões de reais e que as economias mensais da fábrica pós-caldeira é de aproximadamente 1 milhão e 700 mil reais conforme a mesma tabela, verifica-se que em 30 meses (2,5 anos) o novo equipamento estará pago.

5.2 Conclusões

Os resultados obtidos com a substituição de uma nova caldeira de recuperação química em uma indústria de celulose e papel permitem as seguintes conclusões:

-Todos os parâmetros técnicos projetados para a caldeira foram alcançados durante o teste de desempenho da caldeira conforme verifica-se na tabela 1;

-Durante o teste de desempenho as emissões atmosféricas ficaram abaixo do que estabelece a resolução de N.º 382 do CONAMA, o que demonstra grande eficiência da combustão do licor preto e do precipitador eletrostático, no que se convencionou denominar eco-eficiência da instalação. A poluição do ar é causada pela acumulação na atmosfera de substância em concentrações tais que gerem efeitos nocivos ao homem e ao meio ambiente. Os principais contaminantes do ar são o monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e de enxofre, oxidantes fotoquímicos e materiais particulados que, por efeito de sua reduzida granulométrica, permanecem em suspensão na atmosfera. Além dos efeitos causados por emissões de gases e particulados, podem ser também incluídos no elenco de contaminantes do ar os odores e os níveis excessivos de ruídos, fatores que podem gerar problemas de ordem legal e trabalhista para os responsáveis por sua geração;

-Com a instalação do precipitador eletrostático verificou-se também a eliminação da pluma da chaminé que trouxe ganhos principalmente em relação ao aspecto visual da fábrica e o aumento da qualidade de vida da população no entorno da indústria, conforme verifica-se nas Figuras 4, 5 e 6;

-Com a captura dos gases e particulados emitidos com o precipitador eletrostático, percebeu-se também a grande recuperação de soda cáustica e enxofre conforme verifica-se nas Tabelas 7, 8 e 9, o que torna o retorno do investimento rápido, em aproximadamente 2,5 anos. O outro benefício com a captura desses materiais foi a diminuição da poluição. A minimização do uso de matérias-primas já permite, por si, reduzir a massa de resíduos gerados, em razão da maior eficiência do processo e das técnicas de produção empregadas. Essa maior eficiência resulta, naturalmente, em menores desperdícios materiais e, conseqüentemente, em menor geração de resíduos;

-Com o aumento da capacidade da queima do licor preto, que era o gargalo para o aumento de produção da fábrica, percebe-se nas Figuras 10 e 11 o aumento de produção;

-Também como grande benefício do aumento da produção foi a redução do custo final do produto. De outro lado, há de se considerar que a maior eficiência no processo e a redução das perdas já constituem bandeiras de qualquer campanha pela produtividade, caminho que necessariamente deve ser trilhado por toda empresa que luta para se manter competitiva em mercados sempre mais exigentes e disputados;

-Com a possibilidade de queimar mais licor preto diariamente, também evitou-se o envio de licor para outras fábricas para a queima. Com isso evitou-se os gastos com o transporte e a perda dos compostos químicos do licor preto, além dos riscos causados pelo transporte rodoviário com o possível derramamento do licor;

-Na questão segurança na operação da caldeira de recuperação química foram reduzidos os seguintes riscos:

-Cristalização do tanque dissolvedor, principalmente em função dos vários equipamentos auxiliares que fazem parte do funcionamento desse tanque, como por exemplo: medidor de densidade, duas bombas de recirculação e dois bicos de patos, controle de nível e de temperatura;

-Furo das bicas de fundido, principalmente devido a diminuição das limpezas em consequência de existir duas bicas e a maior distribuição do fundido;

-Deslocamento das bicas de fundido, principalmente em função dos equipamentos auxiliares que fazem parte do tanque dissolvedor e da melhor distribuição do fundido;

-Furo nos fragmentadores principal e de emergência, devido a posição de operação vertical desses equipamentos que na caldeira de recuperação química ficava na posição horizontal;

-Choque térmico durante as paradas mensais, tendo em vista que a caldeira foi projetada somente para uma parada anual.

-Verifica-se também que os gastos com manutenção corretiva durante os próximos 2 anos serão nulos, devido ao contrato de garantia dos equipamentos auxiliares;

-Com relação a geração de energia elétrica verifica-se que a fábrica tornou-se auto-suficiente;

-Devido ao aumento na geração de energia elétrica verifica-se um grande ganho em reais em consequência da diminuição da energia comprada;

REFERÊNCIAS

- Balestiere, José A. Perrella, 2002. Cogeração: Geração combinada de eletricidade e calor. Ed. UFSC. Florianópolis.
- BLRBAC – Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee – Práticas Recomendáveis. Revisão 2004.
- CBC, 2006. Manual de instruções da Caldeira de Recuperação B. Volumes 1 a 10.
- Costa, Fábio H. L. Janeiro/2002 a dezembro/2006. Relatório mensal de ocorrências do departamento de recuperação e utilidades.
- Galdino, Elvecio L, 1991. Curso de Recuperação de Produtos Químicos. Ed. ABTCP. São Paulo.
- Gotaverken, 1981. Manual de Operação da Caldeira de Recuperação A. Volumes 1 a 7.
- Lima, Fernando M. Janeiro/2006 a dezembro/2007. Relatório de custos.
- Natale, Ferdinando, 2000. Automação industrial. Ed. Érica. São Paulo.
- Pêra, Hildo, 1990. Geradores de vapor. Ed. Fama. São Paulo.
- Pereira, A.; Oliveira, J.P., 1999. Análise e discussão das recomendações do BLRBAC para a queima de licor preto em caldeira de recuperação química. Anais do 8º Seminário de Recuperação e Utilidades. São Paulo.
- Reis, Lineu Bélico, 2003. Geração de energia elétrica – Tecnologia, Inserção Ambiental, Planejamento, Operação e Análise de Viabilidade. Ed. Manole. São Paulo.
- Romm, Joseph J. [tradução Júnior, O. Melo Álvares; Kozelka, Paul R.], 2004. Empresas eco-eficientes. Ed. Signus. São Paulo.
- Schreiber, G., 1999. Detecção acústica de vazamento em caldeiras de recuperação química: cinco casos reais na Rigesa. Anais do 8º Seminário de Recuperação e Utilidades. São Paulo.
- SENAI – Escola Theobaldo de Nigris/SP, 1981. Tecnologia de fabricação da pasta celulósica – Vol. único.
- Torreira, Raúl Peragallo, 1995. Geradores de vapor. Ed. Libris. São Paulo.
- Valle, Cyro Eyer, 2000. Como se preparar para as normas ISO 14000: Qualidade ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente. Ed. Pioneira. São Paulo.

APÊNDICE A

PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CELULOSE E PAPEL

Nesta seção apresenta-se o processo básico da maioria das fábricas de celulose e papel.

A.1 Floresta

A madeira (pinus e eucalipto) é utilizada como matéria-prima para a produção de celulose. Por isso deve ser cultivada desde a semente até o transporte da madeira no tamanho de corte para as unidades fabris produtoras de celulose, conforme pode ser verificado na Figura A.1.

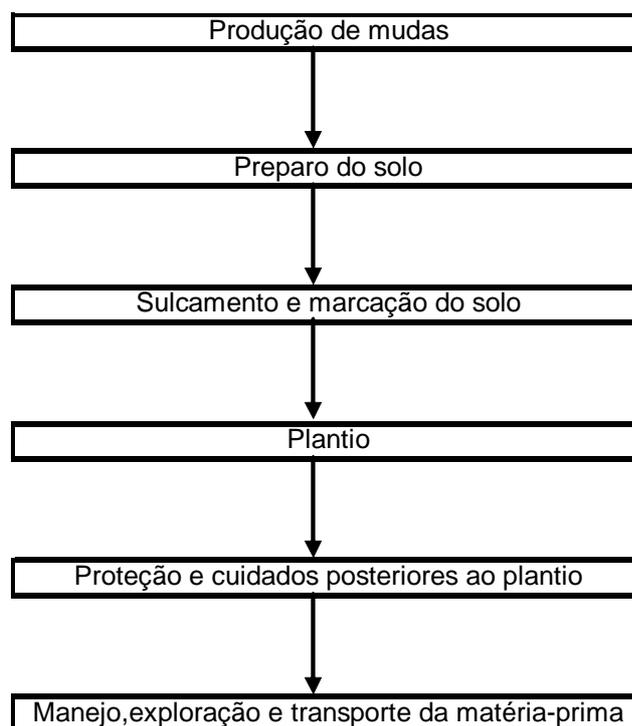


Figura A.1 – Etapas da produção da madeira para produção de celulose

A produção de mudas, tanto de eucalipto como de pinus, podem ser produzidas por semeadura direta no campo. No Brasil o usual é produzir as plantas nos viveiros e, posteriormente, levá-las ao lugar definitivo.

A segunda etapa seria o preparo do solo com o objetivo de deixar uma superfície adequada para o correto enraizamento das mudas.

A etapa de plantio é a operação que consiste em enterrar a raiz das mudas no lugar definitivo.

Numa outra etapa, após o plantio, são necessários cuidados como replantio das mudas secas, controle de pragas, poda, desbaste e em alguns casos o controle contra incêndios.

E como última etapa das atribuições do setor florestal nas indústrias de celulose e papel, ocorre a exploração e o transporte, onde são efetuados desde o abate da árvore até a sua chegada a porta da fábrica.

A.2 Pátio de madeira

O setor pátio de madeira é responsável em fazer a preparação da madeira para o cozimento. A Figura A.2 mostra um fluxograma clássico das atividades realizadas nesse setor.

Após a chegada à fábrica, a madeira pode ser processada imediatamente ou, então ser mantida em estoque para utilização futura.

A outra etapa importante desse processo é o descascamento da madeira que tem como objetivo como o próprio nome sugere, a retirada da casca da madeira. A casca se fosse cozida juntamente com a madeira, acarretaria um consumo maior de reagentes auxiliares do cozimento, diminuiria o rendimento dos digestores, tornaria a lavagem mais difícil, além de afetar negativamente as propriedades físicas do papel e por final, aumentaria o teor de sujeira na celulose. Para tornar a produção de celulose e papel econômica, essa casca que seria descartada, é utilizada na geração de vapor nas caldeiras de biomassa e posterior geração de energia elétrica através de turbogeradores.

O propósito da picagem é reduzir as toras a fragmentos, cujo tamanho facilite a penetração do licor de cozimento. Após a picagem os cavacos são classificados com o

objetivo de separar, do material aceito, os cavacos superdimensionados e os finos. O material superdimensionado é repicado e os finos, ou são processados separadamente, ou, então, queimados nas caldeiras de biomassa. Posteriormente, os cavacos são enviados para a estocagem ao ar livre e na seqüência enviados para o cozimento para a produção da pasta.

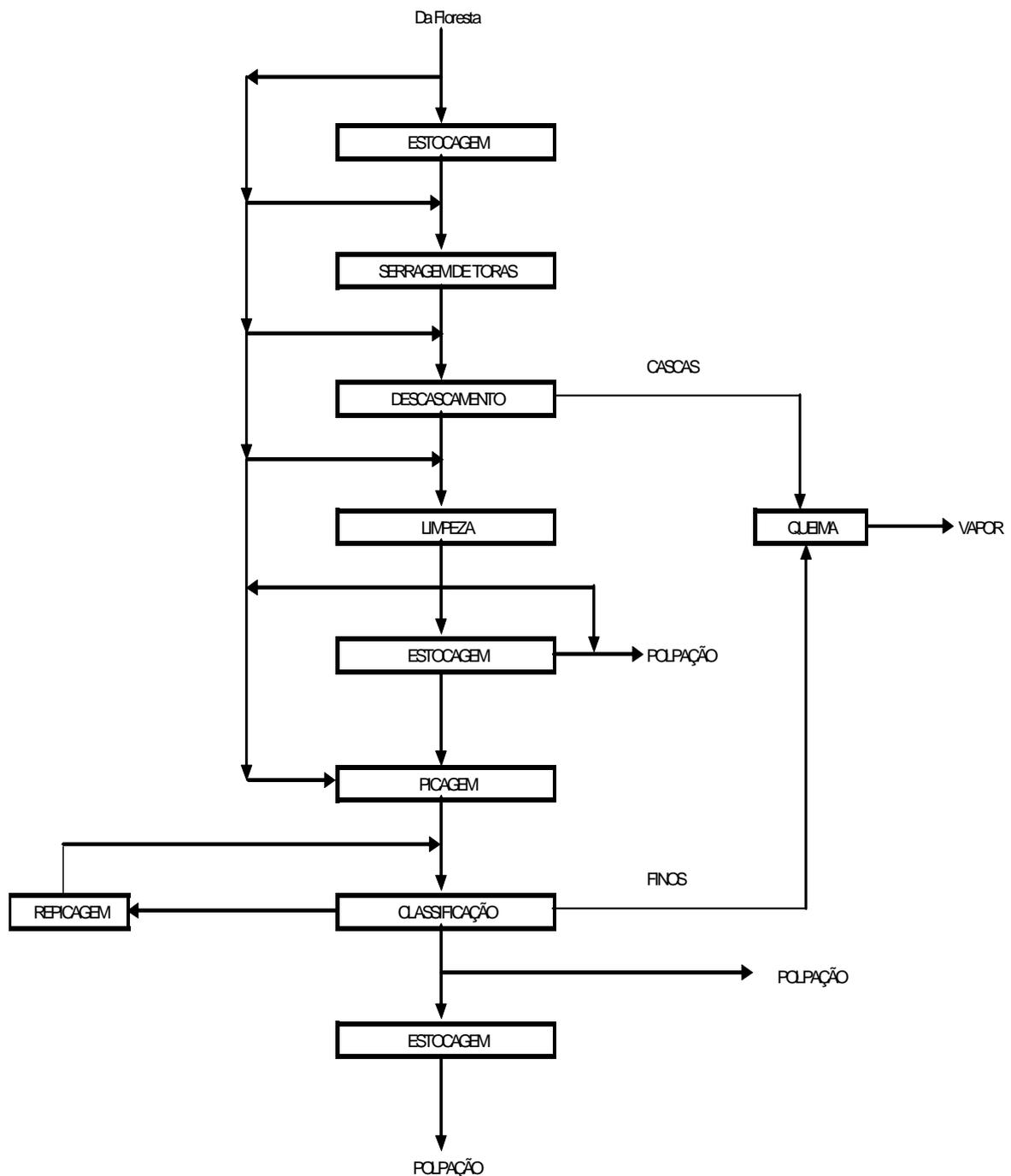


Figura A.2 – Etapas da preparação da madeira para o cozimento

A.3 Cozimento e lavagem

Nesta etapa do processo de fabricação de celulose e papel, os cavacos de madeira são aquecidos em um vaso de pressão (digestor) através do vapor das caldeiras de recuperação química ou biomassa, com licor de cozimento consistindo, principalmente, de uma solução aquosa de hidróxido de sódio e de sulfeto de sódio proveniente do processo de recuperação química, no caso do processo kraft ou sulfato. Na Figura A.3 pode-se visualizar um digestor do tipo contínuo.

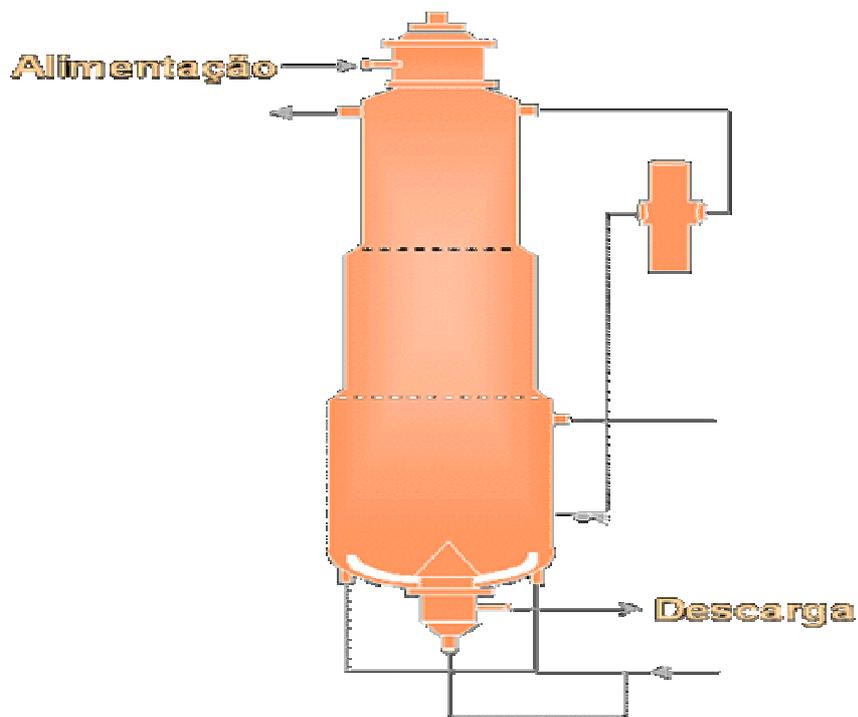


Figura A.3 – Digestor do tipo contínuo (GALDINO, 1991)

Após o cozimento, a massa passa por um processo de lavagem para a retirada dos produtos químicos. Água de lavagem, juntamente com os produtos químicos retirados, são enviados para o processo de recuperação química, recebendo a denominação de licor preto

fraco. Esse licor preto fraco têm aproximadamente 13% de sólidos, ou seja, 13% são porções da madeira de cozimento e o restante é água.

A.4 Fabricação de papel

Após o cozimento e a lavagem, a massa então é enviada para o setor de fabricação de papel. A Figura A.4 mostra o final de uma máquina de papel kraft típica.

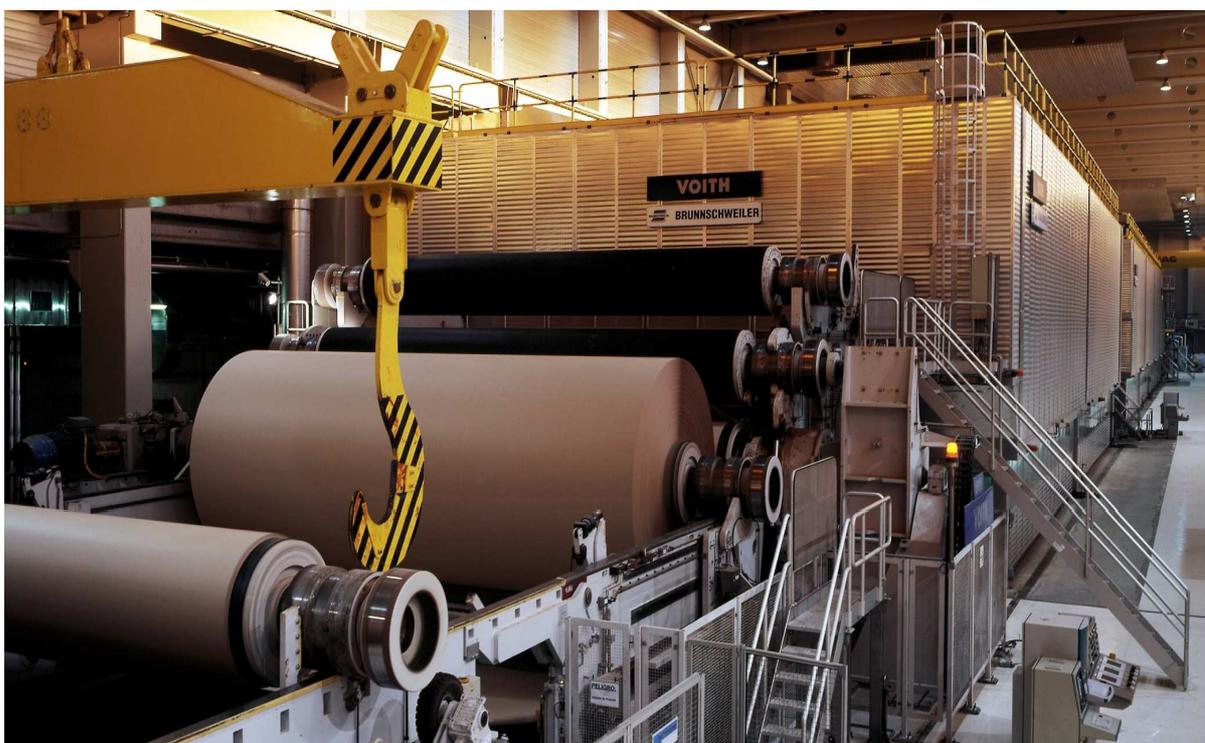


Figura A.4 – Máquina de papel kraft

Fonte: Voith.

A.5 Processo de recuperação química

A recuperação constitui uma parte essencial do processo das fábricas de celulose e papel. A função do sistema de recuperação não consiste, unicamente, em retornar os reagentes ao digester com um mínimo de perda, mas também consiste em:

-Produzir vapor para as diversas operações, tais como cozimento, branqueamento e secagem, reduzindo os custos. Na Figura A.5 pode-se ver uma caldeira de recuperação química típica operando em fábricas de celulose e papel;

-Ser capaz de produzir um licor de cozimento com composição adequada ao seu reuso;

-Eliminar parte dos efluentes com potencial poluidor.

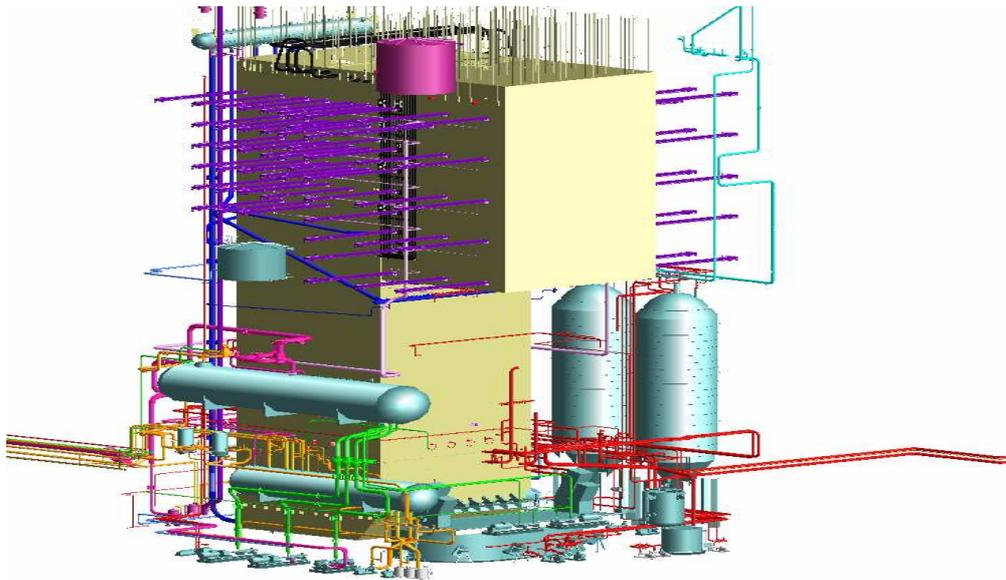


Figura A.5 – Caldeira de recuperação química (PERA, 1990)

O licor preto diluído com parte da água usada na lavagem, com teor de sólidos de aproximadamente 13%, é concentrado em evaporadores de múltiplos efeitos até um teor de sólidos de cerca de 75% para ser injetado posteriormente na fornalha de recuperação para que ignifique e continue a queimar por força da matéria orgânica que contém. Na Figura A.6 pode-se ver um esquema típico de evaporadores de múltiplos efeitos.

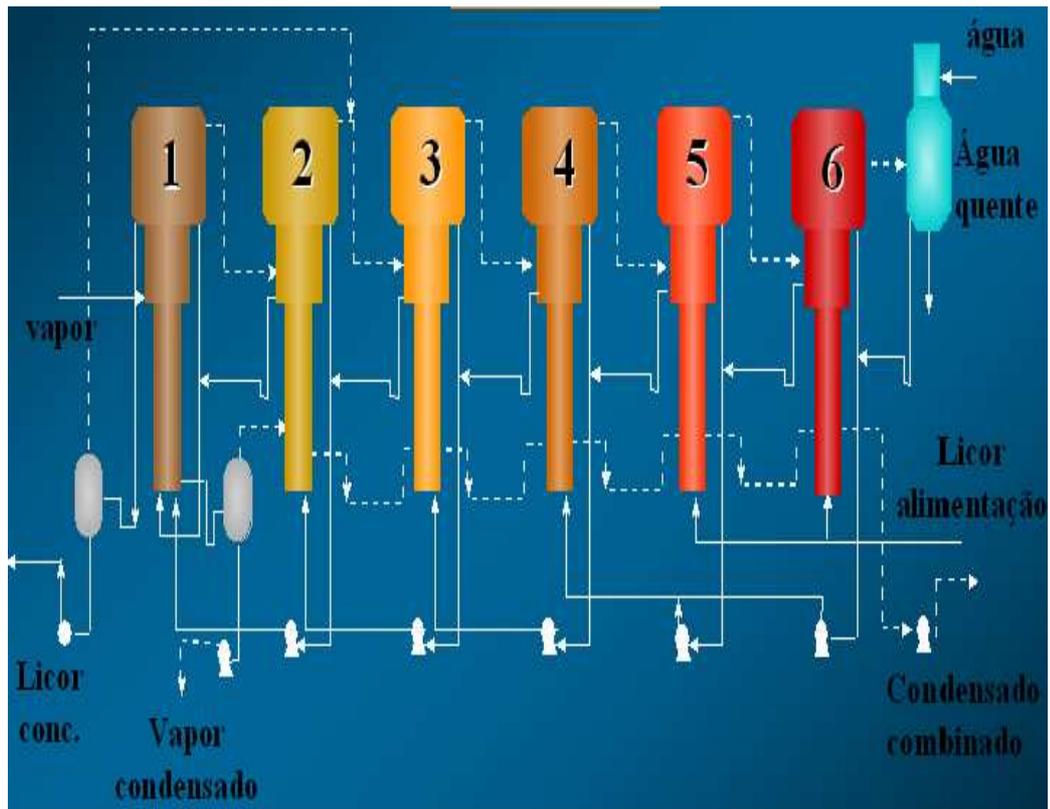


Figura A.6 – Evaporadores de múltiplos efeitos (GALDINO, 1991)

A massa preta viscosa resultante não apresenta todos os componentes inorgânicos originais do licor branco, devido às perdas mecânicas e à impossibilidade de se retirar todos os íons inorgânicos na lavagem. Portanto, há necessidade de se compensar a perda pela adição de produtos químicos. Geralmente o sulfato de sódio é adicionado em quantidade equivalente à perdida. A mistura é feita antes da fornalha, onde os compostos orgânicos são queimados, liberando calor e produzindo dióxido de carbono, que é absorvido pelo resíduo de caráter alcalino, formando carbonato de sódio (Na_2CO_3). O calor da fornalha pode ser utilizado para gerar vapor superaquecido para as turbinas geradoras de energia, como também vapor para o processo.

Na fornalha, a lignina e outros constituintes da madeira presentes no licor preto concentrado mantêm a combustão, enquanto os compostos de enxofre passam por uma série de reações. Na Figura A.7 pode-se ver as principais etapas da combustão do licor preto.

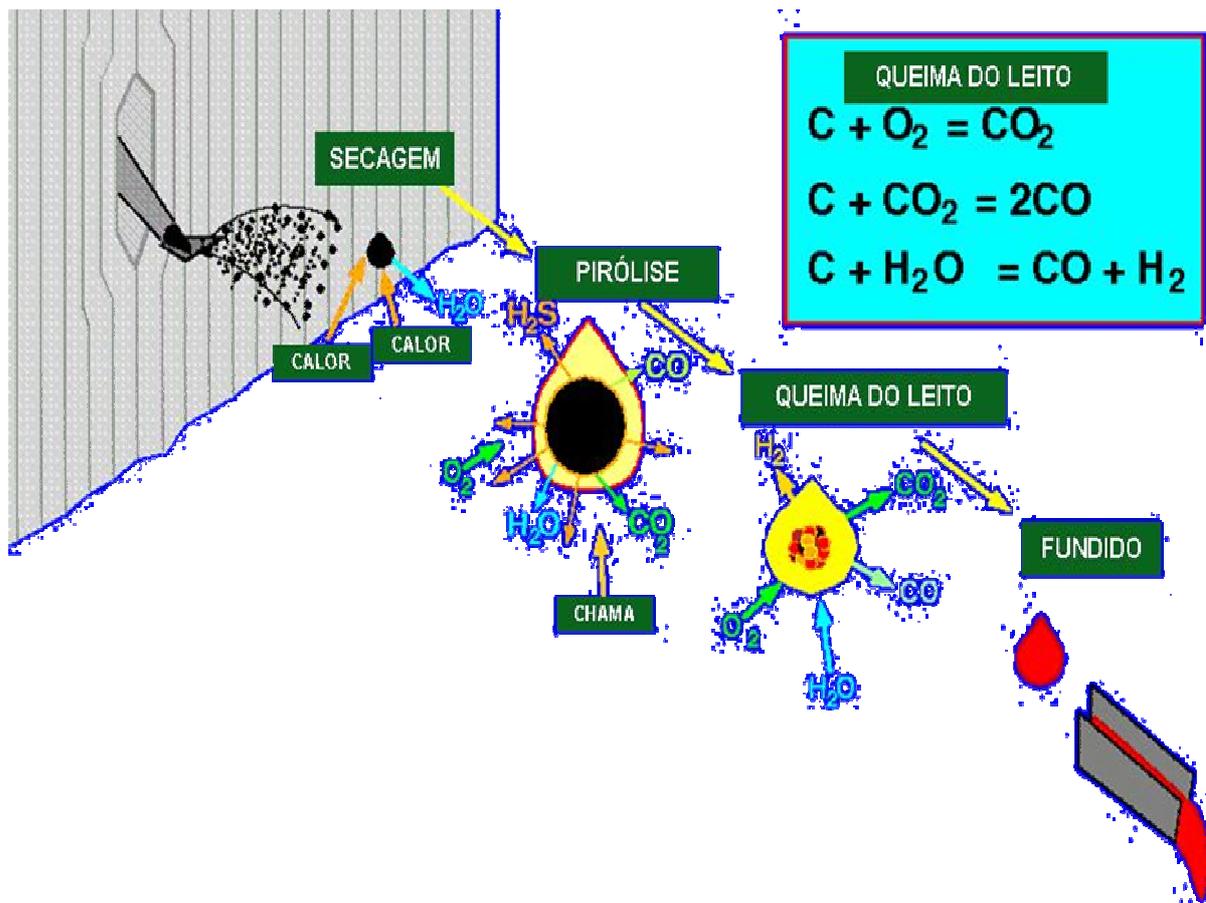


Figura A.7 – Principais etapas da queima do licor preto (TORREIRA, 1995)

As reações mais importantes realizadas na fornalha são a conversão dos compostos orgânicos de sódio em carbonato de sódio (Na_2CO_3) e a redução do sulfato em sulfeto. Assim, a massa fundida formada é composta, principalmente, de carbonato de sódio (Na_2CO_3) e sulfeto de sódio (Na_2S), contendo impurezas em pequenas quantidades.

O fundido da fornalha de recuperação é dissolvido em um licor branco fraco. Na Figura A.8 pode-se ver o fundo da fornalha de uma caldeira de recuperação química. Esta solução, denominada de licor verde, contém também sulfetos de sódio e de ferro. O sulfeto de ferro está presente na forma coloidal e confere a cor verde ao licor.

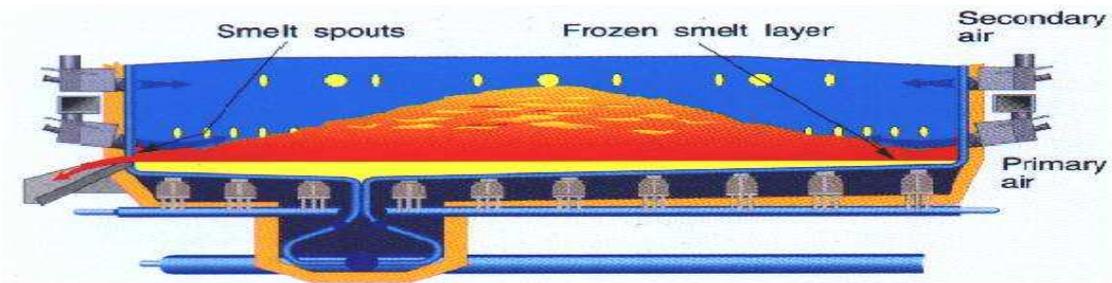


Figura A.8 – Fundo da fornalha (GALDINO, 1991)

A seguir o licor verde é tratado com uma suspensão concentrada de hidróxido de cálcio (CaOH) para caustificar o carbonato de sódio (Na_2CO_3) em hidróxido de sódio (NaOH), produzindo o licor branco a ser usado no cozimento. Na Figura A.9 pode-se ver um processo típico de caustificação.

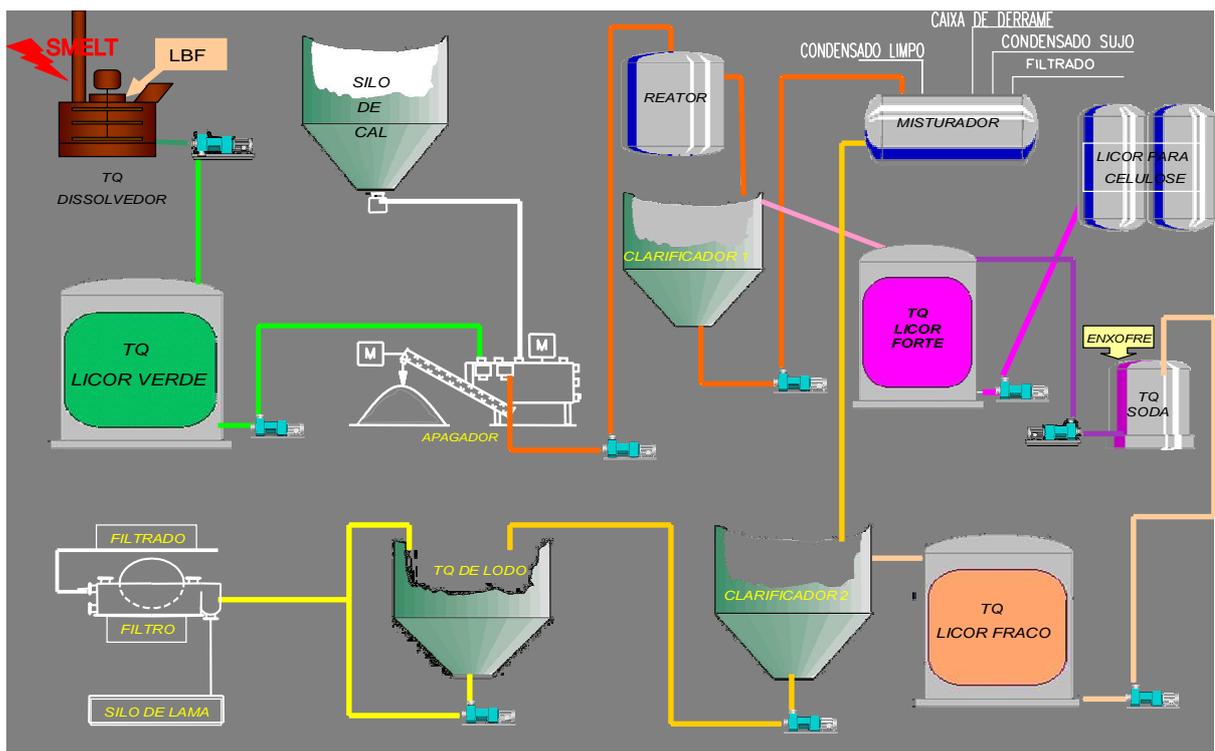


Figura A.9 – Processo típico da caustificação (GALDINO, 1991)

Após a etapa da caustificação, o licor branco concentrado, é enviado novamente para o cozimento para produção da pasta, fechando dessa maneira o ciclo do processo de fabricação de celulose e papel.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)