

Caldeiras de Recuperação Química

Fórum de Integridade de Caldeiras IBP

Flávio A. Paoliello
2015

O que são Caldeiras de Recuperação Química?

- Equipamentos exclusivos da indústria de C&P, com função combinada de **gerador de vapor + reator químico**
 - Recuperam o poder calorífico da fração orgânica do licor preto
 - Recuperam os compostos inorgânicos do licor, no smelt, convertendo-os em formas reutilizáveis no processo de cozimento Kraft
- → projeto e processo complexos [*Hupa, 2005*]

O que são Caldeiras de Recuperação Química? (cont.)

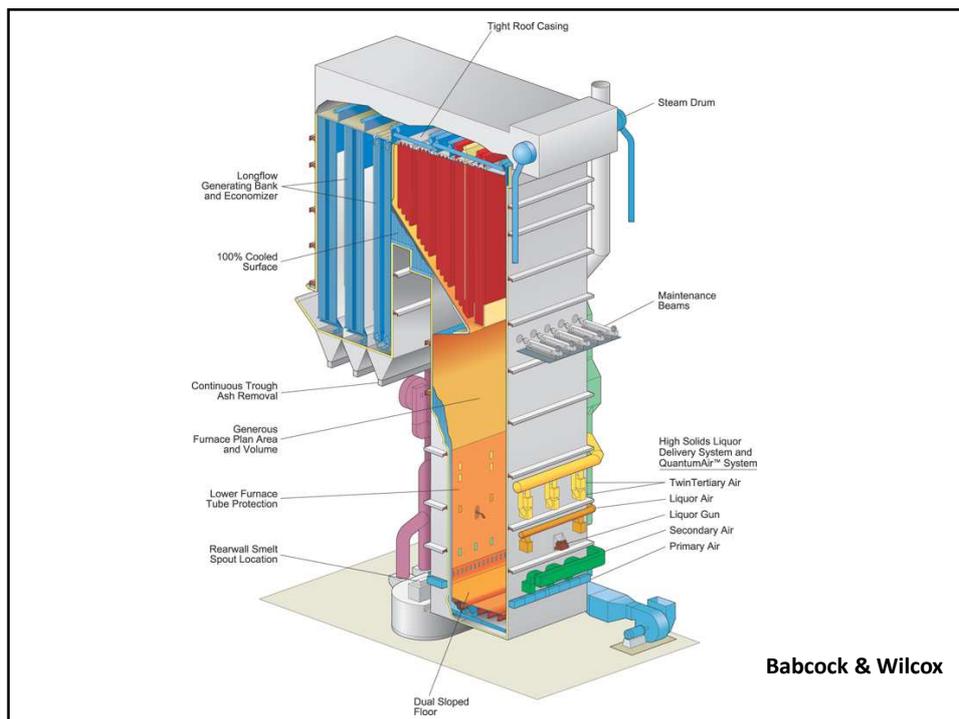
- Possuem três grandes funções:
 1. Recuperar os químicos utilizados no cozimento (compostos de Na e S)
 2. Gerar vapor superaquecido
 3. Eliminar subprodutos ambientalmente indesejáveis
- **Coração da fábrica de celulose?**

Licor preto

- Subproduto do cozimento da madeira
- Contém os químicos inorgânicos utilizados no cozimento, mais substâncias orgânicas e inorgânicas removidas da própria madeira no processo de cozimento

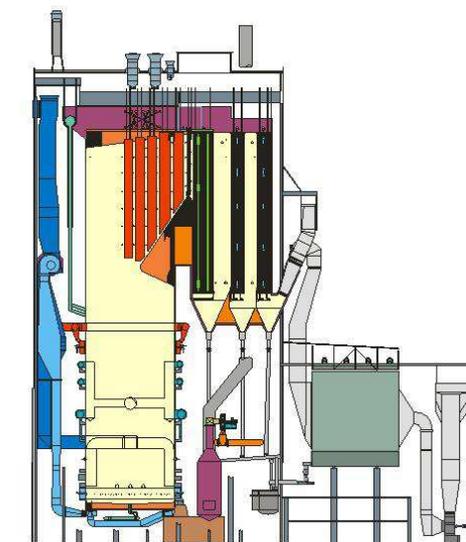


Adams



A CR contemporânea

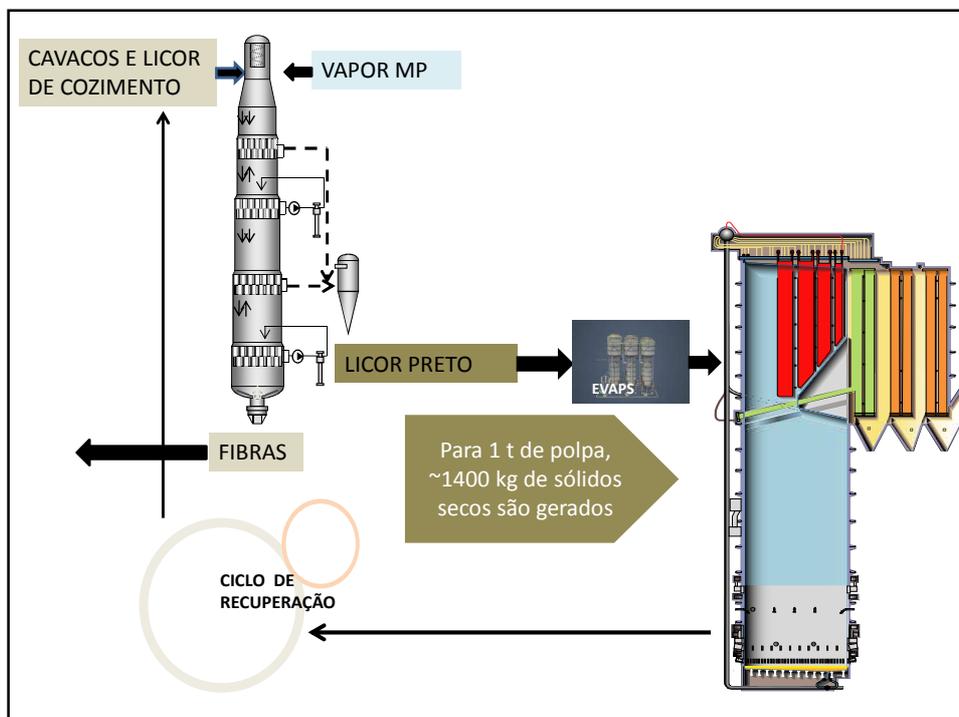
- Vapor 480 a 515 °C
- 8,3 a 12,4 MPa
- 72 a 85% sólidos
- Até 7000 tds/24 h
 - E serão ainda maiores, em futuro próximo



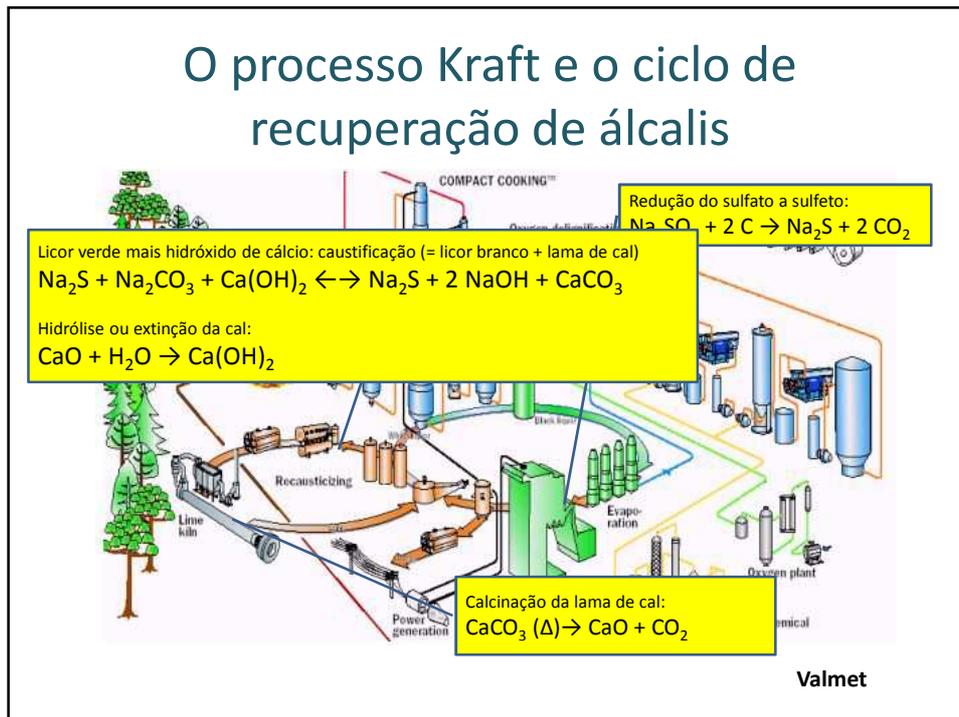
Valmet

Riscos inerentes a Caldeiras de Recuperação

- Explosões *smelt*-água
- Riscos gerais de geradores de vapor (explosões combustíveis, falhas catastróficas por falta de água, etc.)



O processo Kraft e o ciclo de recuperação de álcalis



Processos físico-químicos nas caldeiras de recuperação

1. Alimentação de ar e sua mistura com os gases na fornalha
2. Alimentação e atomização do licor preto em gotículas
3. Secagem das gotículas de licor preto
4. Pirólise do licor e combustão dos gases de pirólise
5. Gasificação e combustão dos resíduos carbonáceos
6. Redução dos compostos sulfurosos do licor preto a **sulfeto**
7. Drenagem dos sais fundidos de sulfeto e carbonato (*smelt*) do fundo da fornalha

Hupa

Riscos das caldeiras de recuperação

- Explosões combustíveis (combustíveis auxiliares ou gases de pirólise do licor)
- Explosões não-combustíveis: *smelt*-água na fornalha...
- ...e no tanque dissolvedor

Explosões *smelt*-água

- Natureza não-combustível
- Fenômeno de **natureza física**, caracterizado pela formação extremamente rápida de vapor, quando água entra em contato com o *smelt*
- Historicamente, 40% dessas explosões se devem a falhas em partes de pressão [*Grace*]
- Grande potencial destrutivo (expansão abrupta e ondas de pressão 10 a 100 kPa) [*Vakkilainen, 2004*]
- Potencial suficiente para deformar severamente uma fornalha e causar fatalidades
- Tipo mais frequente de explosões em CRs! [*Ribeiro, 2010*]

Explosões *smelt*-água: escala de riscos

1. Vazamento grande na parede, teto ou screen
2. Vazamento no piso, qualquer tamanho
3. Vazamento grande no banco gerador
4. Vazamento pequeno na fornalha baixa
5. Outros vazamentos

Grace

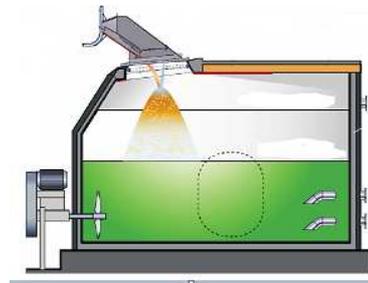
Um grande desafio da operação, inspeção e manutenção de CRs é...

- Evitar qualquer possibilidade de contato do *smelt* com a água...
- ...num grande reator químico **resfriado a água!!**

Parrish / National Board

Explosões no tanque dissolvedor

- Falha no controle de nível do tanque (volume insuficiente de lavado fraco)
- Grande descarga de instantânea de smelt (bicas entupidas?)
- Falha da fragmentação do smelt
- → Grande volume de smelt não dissolvido no tanque
- Historicamente: recebe menos atenção da indústria [Grace]



Metso

Três possíveis vias para ingresso de água na fornalha

1. Falha de componentes pressurizados (vazamentos)
2. Ingresso de água juntamente com o licor (licor com baixo % sólidos)
3. Fontes externas

Duas linhas de prevenção de explosões

1. Eliminação de falhas e não-conformidades que causem o ingresso de água na fornalha, i.e. **prevenção de vazamentos**
2. Procedimentos que minimizem a quantidade de água na fornalha e o tempo de exposição, caso a hipótese [1] venha a ocorrer

Prevenção de vazamentos

- Inspeções efetivas
- Reparos adequados, de acordo com os códigos oficiais e não-oficiais
- Adequações do projeto

Inspeção

- Exame externo
- Exame interno
 - Participação de especialistas
 - Intensiva aplicação de END
 - Lado gases: investigação de corrosão, erosão, deformações, trincas, alterações dos materiais, escoriações e danos mecânicos, partes soltas, interferências indevidas, etc.
 - Lado água: corrosão, depósitos, incrustações, etc.
- Equipamentos periféricos
 - Tanque dissolvedor, tanque de mistura, sopradores...
- Testes complementares
 - PSV
 - TH
 - Interlocks

Inspeção: além da NR-13

RECOMENDAÇÃO DO COMITÊ DE SEGURANÇA EM CALDEIRAS DE RECUPERAÇÃO DO BRASIL

Revisão 3 - 2013
(Sub-comitê de Manutenção, Inspeção e Instrumentação)

GUIA PARA INSPEÇÃO PERIÓDICA DE CALDEIRAS DE RECUPERAÇÃO

1- Generalidades

1.1- Objetivo e Campo de Aplicação desta Recomendação

Por razões de segurança, normas técnicas e legais vigentes no Brasil preceitam que caldeiras de qualquer tipo sejam inspecionadas com regularidade. Estas normas estabelecem procedimentos, prazos, responsabilidades e demais requisitos para estas inspeções. Há contudo um reconhecimento geral, na indústria de celulose, de que a segurança das caldeiras de recuperação de álcalis requer cuidados de inspeção que transcendem as exigências oficiais genéricas para geradores de vapor, contidas nas normas acima citadas. Com isto, configura-se a necessidade de que o escopo técnico aplicável à inspeção periódica de caldeiras de recuperação esteja definido. O presente documento, respeitando inteiramente os regulamentos oficiais vigentes, tem portanto o objetivo de delinear e complementar este escopo recomendável de exames, de forma coerente com a criticidade e o risco associado às caldeiras de recuperação de álcalis da indústria de celulose.

1.2- Documentos aplicáveis:

- Norma regulamentadora Nº 13 do MTE (NR-13)
- Código ASME BPV, seções I, V, VII
- BLRBAC Recommended Good Practices – Materials & Welding, Personnel Safety
- TAPPI TIP 0402-15 e 0402-18
- ABNT NB 12177-2
- National Board Inspection Code (NBIC) - NB23

1.3- Princípios e orientações gerais para a inspeção

1. Deve ser elaborado e mantido pelo proprietário da caldeira um programa de inspeção documentado, detalhado e individual para cada caldeira, levando-se em conta diferenças de concepção, idade, condições

Inspeção – alguns princípios essenciais

- Inspetores devem ser experientes em **caldeiras de recuperação**, com:
 - conhecimento do histórico da caldeira
 - conhecimento de problemas em outras CRs
- Inspeção integral de todas as partes da caldeira
- Inspeção visual deve orientar a aplicação dos END
- Não delegar a técnicos de END a inspeção visual e a avaliação final dos resultados

Mentz

ENDs usuais em caldeiras de recuperação

ENSAIO	LOCAIS USUAIS
Medições ultrassônicas de espessura	Tubos de troca térmica em geral
<i>Magnetic Lift-Off (MLO)</i>	Tubos compostos
Líquidos penetrantes	Fornalhas de tubos compostos / CRWO, aberturas da fornalha, membranas, aletas, espaçadores, <i>croch-plates</i> , soldas de acessórios
Partículas magnéticas	Soldas de balões e coletores, espelhos em geral, desaerador
Ensaio especiais: EMAT, Slofec™ etc.	Tubos de fornalha
Ultrassom para detecção e dimensionamento de descontinuidades	Soldas de balões e coletores, bem como outros elementos de espessura considerável. Soldas de tubos em geral
I.R.I.S., <i>Near Drum Inspection</i>	Tubos do banco de convecção
Endoscopia	Dessuperaquecedores, economizador, coletores, <i>downcomers</i> . Investigações do lado água-vapor
Radiografia	Soldas de tubos em geral. CQ de reparos. Linha de água de alimentação.
Metalografia de campo (direta ou por réplica)	Tubos e coletores de alta temperatura (Avaliação de integridade)
Medições dimensionais	
Medições de dureza	

Alguns problemas comuns em CRs

- Corrosão em tubos da fornalha baixa e média
- Erosão e corrosão em bocais de ar, queimadores, aberturas de *smelt*
- Trincas em tubos compostos
- Desgaste da pinagem
- Trincas em aletas e *crotch-plates* nas aberturas da fornalha
- Corrosão em superaquecedores
- Deformações em superaquecedores
- Fratura de espaçadores e clips de superaquecedores
- Amassamento de tubos do screen
- Corrosão nas partes “frias”
- Soltura e perda de elementos de fixação como barras anti-vibração, grampos, suportes, tirantes, etc.
- “Near Drum Corrosion”
- Deficiências no lado de água, depósitos excessivos, soltos, pitting, etc.
- Degradação de invólucros
- Etc.

Qualidade dos reparos

- Assegurar conformidade aos **códigos de construção...**
- E, ainda, atender às recomendações dos **comitês especializados**
- Garantia da qualidade na execução, especialmente soldagem

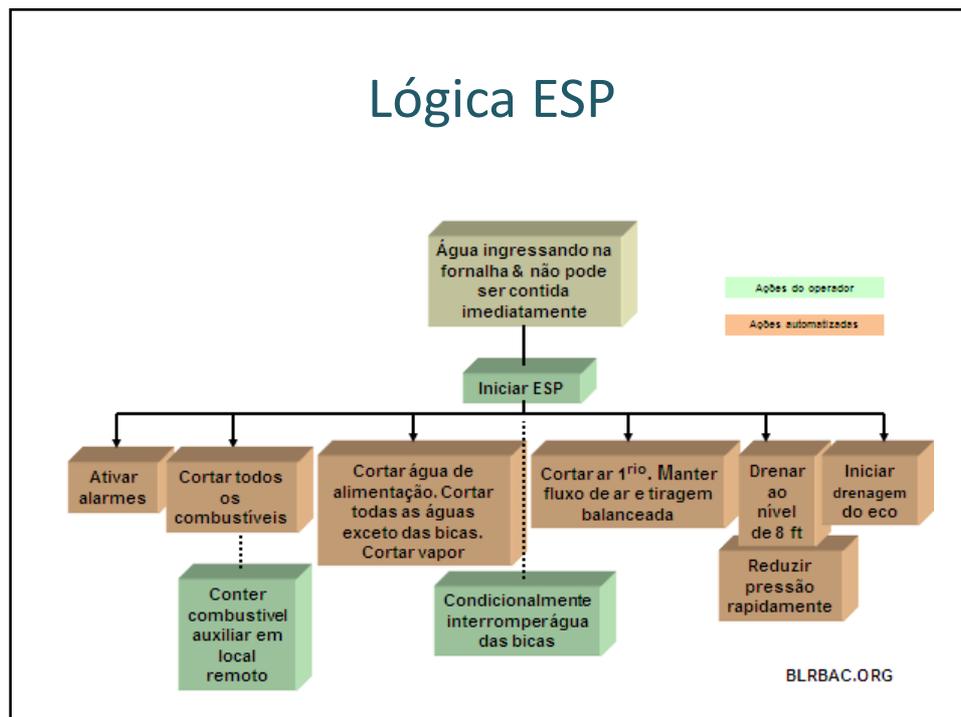


Detecção de vazamentos

- Equilíbrio água-vapor & nível do balão
- Pressão da fornalha
- Umidade no sistema de cinzas
- Ruídos
- Enegrecimento da camada de *smelt*
- Corrente do IDFan
- Técnicas “avançadas”:
 - Análise estatística dos fluxos de água e vapor sobre períodos definidos de tempo (sistemas especialistas)
 - Monitoramento da química da água
 - Detectores acústicos (em estudo)

Drenagem de Emergência - ESP

- Atributo de segurança e prevenção de explosões, exclusivo e mandatório das caldeiras de recuperação
- Sistema acionado em caso de vazamento
- Drenagem rápida da caldeira (~20'), com os objetivos de:
 1. Interromper o fornecimento de água
 2. Liberar a pressão contida, reduzindo a energia armazenada
 3. Eliminar vapor e água quente acumuladas, que poderiam causar danos pessoais



Drenagem de emergência - ESP

- Autonomia total do **operador**
- Procedimento mitificado no passado, hoje é tratado com mais abertura pela indústria

Drenagem de emergência - ESP

Mas...

- Tensões térmicas e mecânicas apreciáveis são impostas ao equipamento
- Necessidade de inspeções específicas posteriores (BLRBAC, CSCRB)

Queima segura de licor

- Conjunto de critérios e procedimentos estabelecidos pelo BLRBAC
- Monitoramento contínuo dos sólidos do licor por refractômetros redundantes
- Desvio automático para s.s. $\leq 58\%$
- Lógicas de *trip* e *start up* (ex.: AFT, BLT, RBT)
- *Interlocks* (ex.: para lavagem do sistema de licor)

Controle sobre fontes externas de água

- Lavagem da fornalha pós parada (427 °C)
 - Drenagem de smelt pós parada
- Sistemas de queima de GNC (arraste de condensado)
- Sistemas de lavagem de gases do tanque dissolvedor
- Limpeza de área em torno da fornalha (!)



Regulamentos, normas e práticas recomendadas

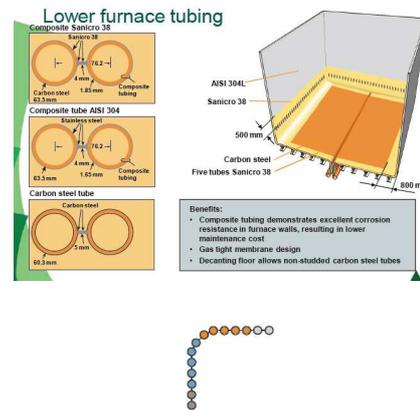
- NR-13
- NBR 12177-2
- ASME B&PVC
- BLRBAC Recommended Practices
- Manuais AF & PA
- Recomendações do CSCRB

Alguns desafios operacionais

- Campanha da caldeira. Minimizar obstrução do circuito de gases
- => *chill & blow*, lavagens
- Entupimentos no sistema de cinzas –hoppers e E/P
- Controle da camada
- Livre fluxo de smelt nas bicas
- Teores de Cl- e K
- Etc etc.

A contribuição dos fabricantes

- Novos materiais
- Melhor projeto
- Melhores métodos de fabricação
 - → Menores tensões residuais
- Proteção passiva



Metso

Sumário: prevenção de explosões em CRs

- Comprometimento a partir da alta gerência
- Programa de gestão da integridade da caldeira
 - Acompanhamento da fabricação e montagem
 - Programa efetivo de inspeção e manutenção
 - Planejamento e acompanhamento das paradas
- Equipe operacional bem treinada
- Conformidade do sistema ao BLRBAC
- Auditorias de segurança regulares - AF & PA
- Projeto adequado

Celulose Nipo-Brasileira S.A. – CENIBRA

FLÁVIO A. PAOLIELLO, M.Sc.

Especialista Sr – Engenharia de Manutenção
Departamento Técnico e Manutenção

(+55 31) 9126 8473, 3829 5681
flavio.paoliello@cenibra.com.br