

A fábrica de celulose do futuro

Resumo sobre a 6ª Conferência Internacional de
Novas Tecnologias Disponíveis

1 a 4 de junho de 1999

Estocolmo - Suécia

A fábrica de celulose do futuro

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura

Axergard, P., Backlund, B.,
Ecocyclic Pulp Mill Program
STFI

Principais características das fábricas mais modernas hoje:

- Alta capacidade de utilização e produção estável
- Cozimento seletivo seguido de uma deslignificação por oxigênio em dois estágios
- Zero efluente do pátio de madeira e do descascamento
- Branqueamento seletivo com oxigênio e peróxido em dois estágios com um estágio intermediário de branqueamento ácido
- O filtrado ácido da planta de branqueamento é tratado em um sistema de tratamento biológico compacto. Os filtrados alcalinos da planta de branqueamento são reciclados.
- Recolhimento eficiente de todos os gases odoríferos não condensáveis e destruição final dos mesmos na caldeira de recuperação.
- Os rejeitos sólidos inorgânicos são tratados e desprezados, retornando-os as florestas ou mandando-os para um aterro sanitário seguro.
- O sistema de recuperação química é projetado para uma elevada eficiência de energia. O excesso de vapor é convertido em energia em uma turbina de condensação.

Comparação da performance técnica e ambiental de fábricas de celulose sulfato branqueada entre 1970, 1999 e 2020 Todos os valores são considerados por tonelada de celulose

| | 1970 | 1999 | 2020 |
|---------------------------------------|--------|----------------------------|--------|
| Descascamento | Úmido | Sêco | Sêco |
| Sequência de branqueamento | CEHDED | QO(XQ)(PO) X=D,Z ou Paa | P |
| Tratamento secundário | Nenhum | Bioreator compacto | Nenhum |
| Resíduo sólido | Sim | Sim | Não |
| Entrada de água- m³ | 100 | 20 | 3 |
| Kappa cozimento | 30 | 25 | 10 |
| AOX, kg | 10 | 0-0,2 | 0 |
| COD, kg | 80-100 | 10 | 0 |

Comparação da performance técnica e ambiental de fábricas de celulose sulfato branqueada entre 1970, 1999 e 2020 Todos os valores são considerados por tonelada de celulose

| | 1970 | 1999 | 2020 |
|---------------------------|------|------|-------|
| Entrada de energia | | | |
| Óleo, GJ | 2,3 | 0 | 0 |
| Eletricidade kWh | 330 | 125 | 0 |
| Casca GJ | 3 | 3 | 3 |
| Saída de energia | | | |
| Eletricidade, kWh | 590 | 660 | 1450 |
| Casca GJ | 0 | 0 | 3 |
| Calor perdido GJ | 32 | 27 | 10-20 |
| Reagentes químicos, GJ | 1,5 | 1,5 | 5-10 |
| Carvão fóssil, ton | 0,19 | 0 | 0 |

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura

O programa da fábrica de celulose ecocíclica foi desenvolvido pela Fundação de Pesquisa Estratégica de Meio Ambiente da Suécia para o desenvolvimento da fábrica de celulose sulfato branqueada para o ano de 2020.

O programa conta inicialmente com 6,5 milhões de dólares, além de dotações de indústrias.

A finalidade do programa é propor soluções ótimas para um fechamento muito maior do processo kraft, fazendo possível a utilização do potencial de energia da biomassa e estabelecer educação intensiva nesse campo.

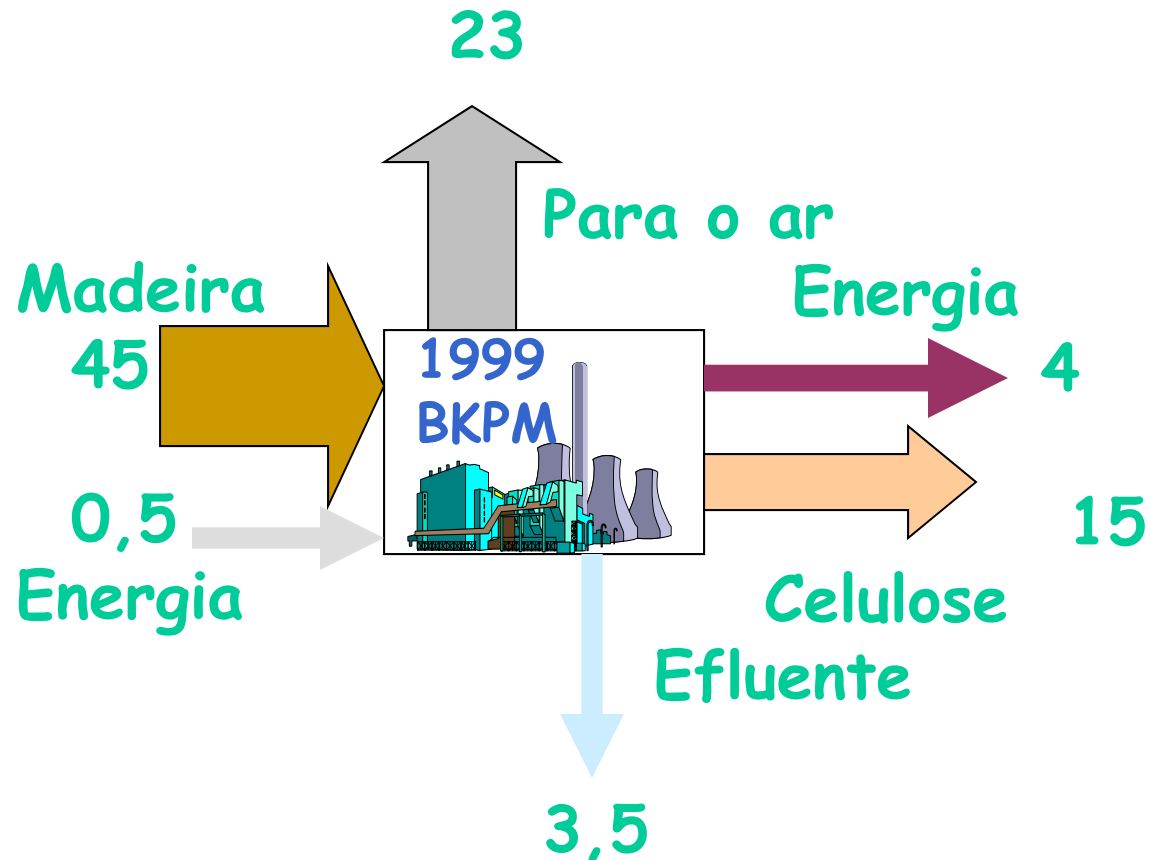
A pesquisa é feita em seis universidades e escolas da Suécia, em estrita colaboração com o STFI, a indústria florestal sueca e as companhias fornecedoras. 60 pesquisadores estão dedicados ao programa.

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura

O programa compreende os projetos seguintes:

- Química do processo
- Processos de separação
- Potencial de energia
- Deslignificação
- Balanço material e energético
- Dinâmica do processo
- Fluxo das substâncias minerais para dentro e para fora das florestas.

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura



Balanço geral de energia de uma fábrica de celulose sulfato branqueada - 1999

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura

1999 - Oportunidades para melhoria

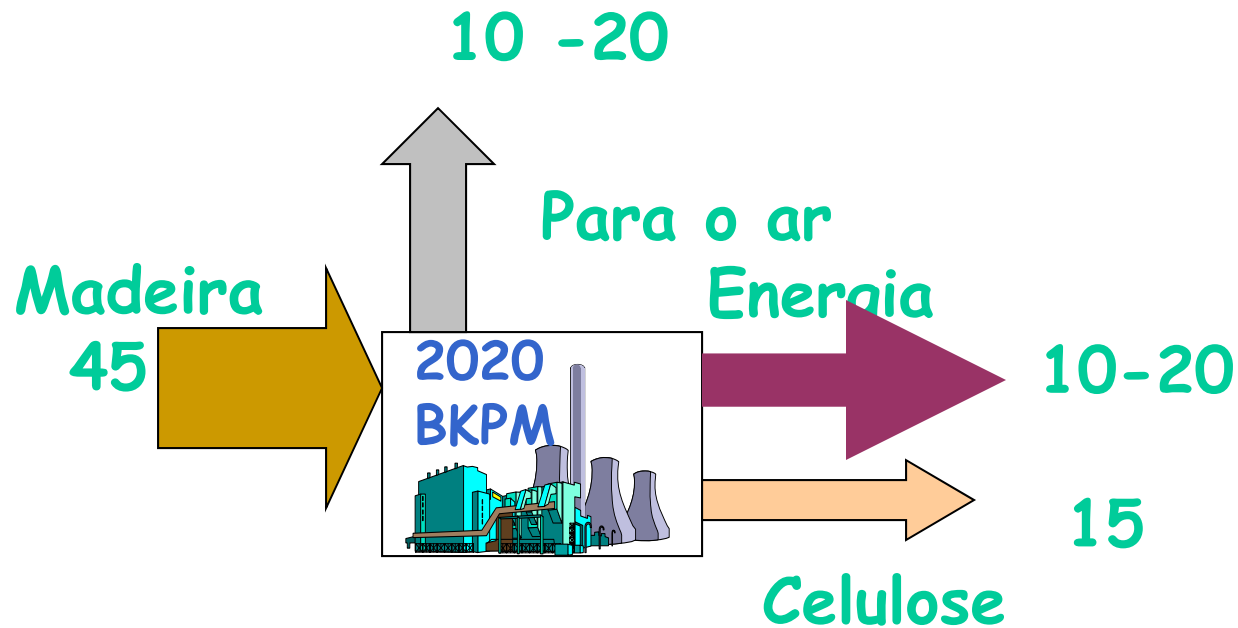
- Excesso de calor pode ser usado para aquecimento público
- Excesso de vapor pode ser usado para produção de eletricidade em uma turbina de condensação
- Calor secundário pode ser usado na pré-evaporação ou na planta de branqueamento, se não for necessário pressão alta
- A caustificação pressurizada pode reduzir o consumo de vapor no digestor
- A integração da fábrica de celulose com um grande consumidor de energia, como uma fábrica de papel

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura

Indicação da demanda de eletricidade para a geração de reagentes para branqueamento em diferentes sequências de branqueamento de celulose kraft de coníferas. Comparação a máxima alvura ISO. Supõe-se que o H do H₂O₂ venha de hidrocarbonetos.

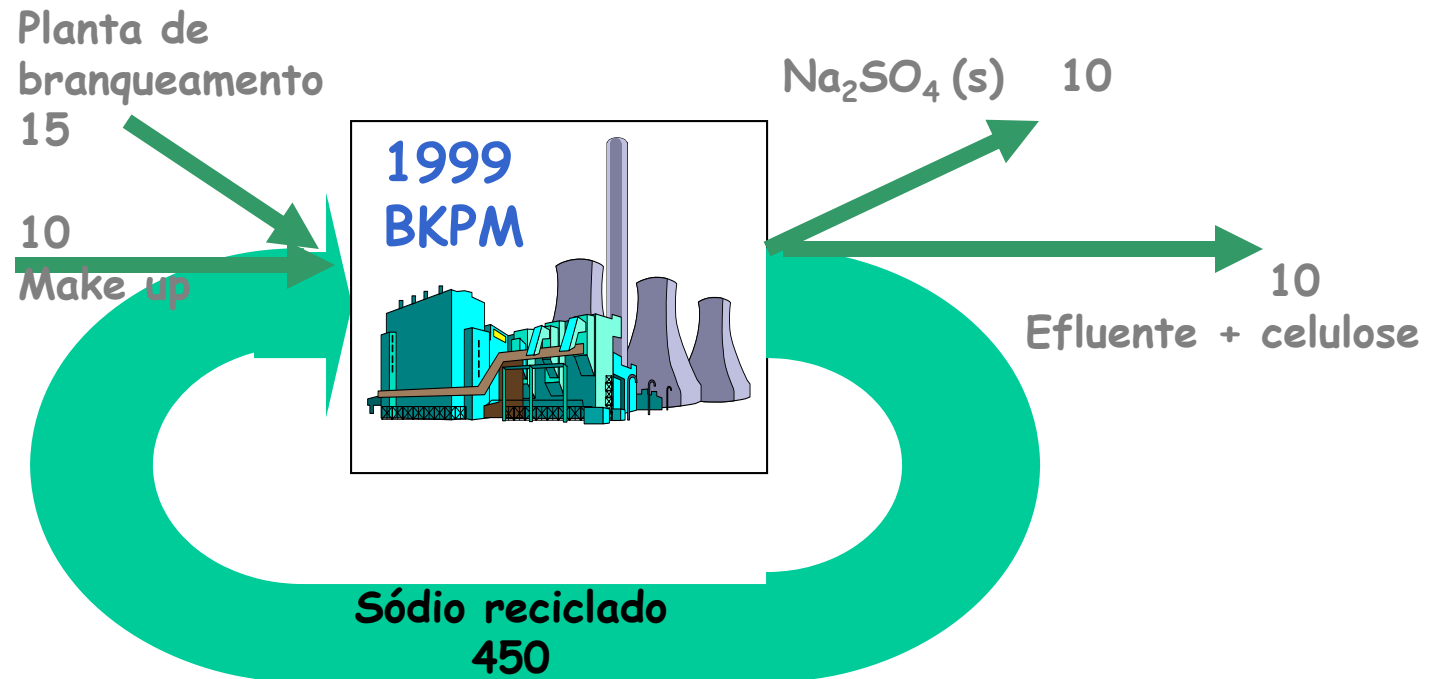
| Sequência de branqueamento | Kappa depois da deslignificação por O ₂ | kWh ptp |
|----------------------------|--|---------|
| (C90D10)EHDED | 32 | 250 |
| D(EPO)DED | 32 | 250 |
| O(C90D10)DED | 18 | 160 |
| OD(EPO)DED | 18 | 230 |
| O(OP)D(EPO)DD | 9 | 150 |
| O(OP)(DQ)(PO) | 9 | 130 |
| O(OP)(ZQ)(PO) | 9 | 100 |
| O(OP)Q(PO) | 9 | 90 |

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura



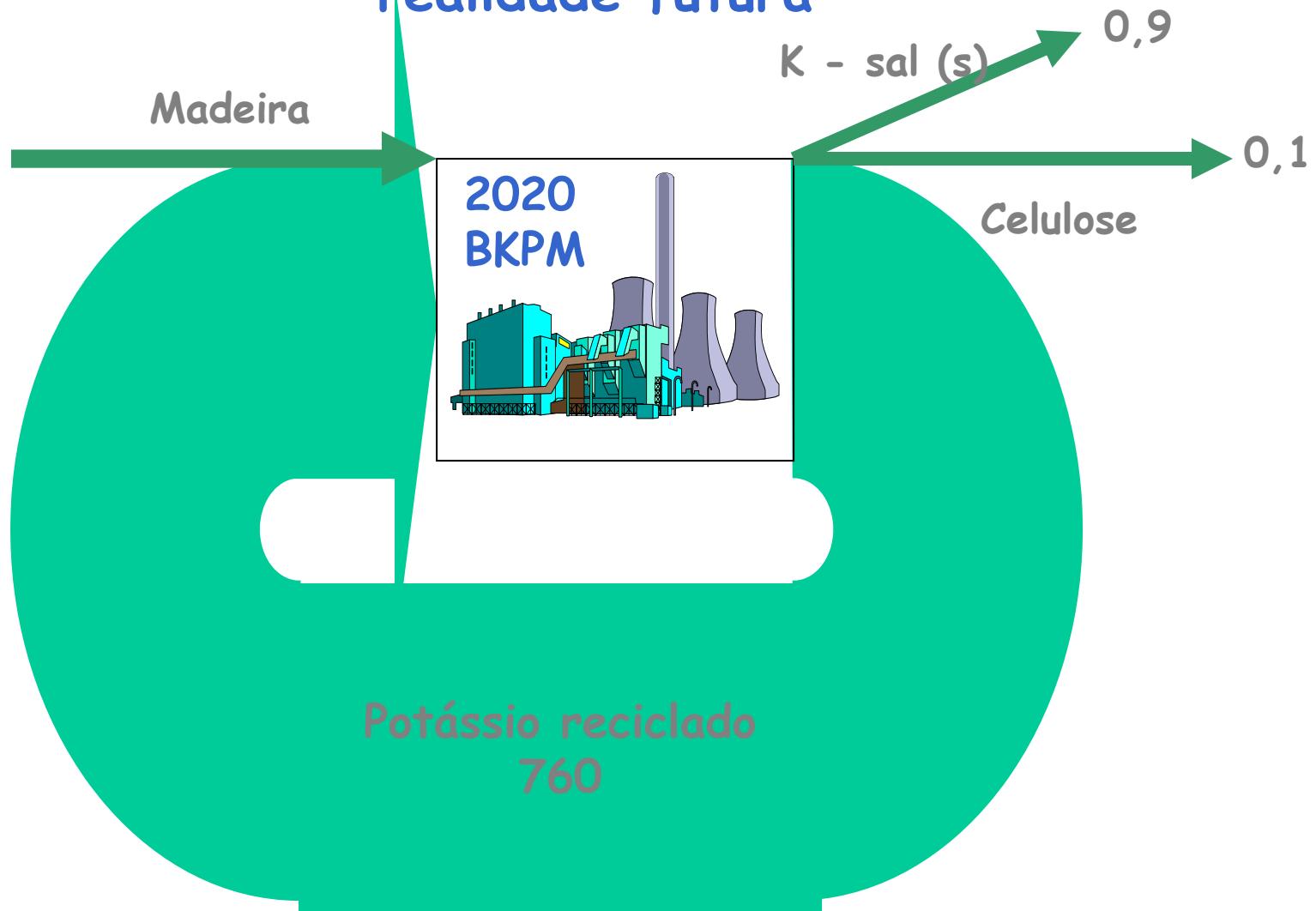
Balanço geral de energia de uma fábrica de celulose sulfato branqueada - 2020

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura



Balanco de álcali para a fábrica
1999 BKPM, em kg Na/ton celulose

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura



Balanço de álcali hipotético para a fábrica
2020 BKPM, em kg K /ton celulose

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura

Tendências para a mudança

- Existe duas vezes mais potássio do que cálcio na madeira
- É mais fácil purgar sódio do que purgar potássio do sistema
- O enxofre virá a ser produzido a partir de fontes internas, como gases não condensáveis de enxofre.
- Grandes quantidades de compostos de enxofre serão recuperados pela evaporação do licor preto para níveis elevados de sólidos secos.
- A fábrica do futuro poderá ser independente de enxofre externo com o processo soda antraquinona.
- Necessidade de estender o cozimento sem perder as propriedades da fibras. Hoje o custo mínimo de madeira + reagentes para coníferas é a kappa 20. O aumento do uso de oxigênio aumentará o kappa final.
- Aumento de oxigênio diminuirá a pressão no branqueamento
- Diminuição do dano causado as fibras no digestor, na deslignificação extendida e nas prensas.
- Produção de fibras com o menor dano possível

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura

Tendências para a mudança

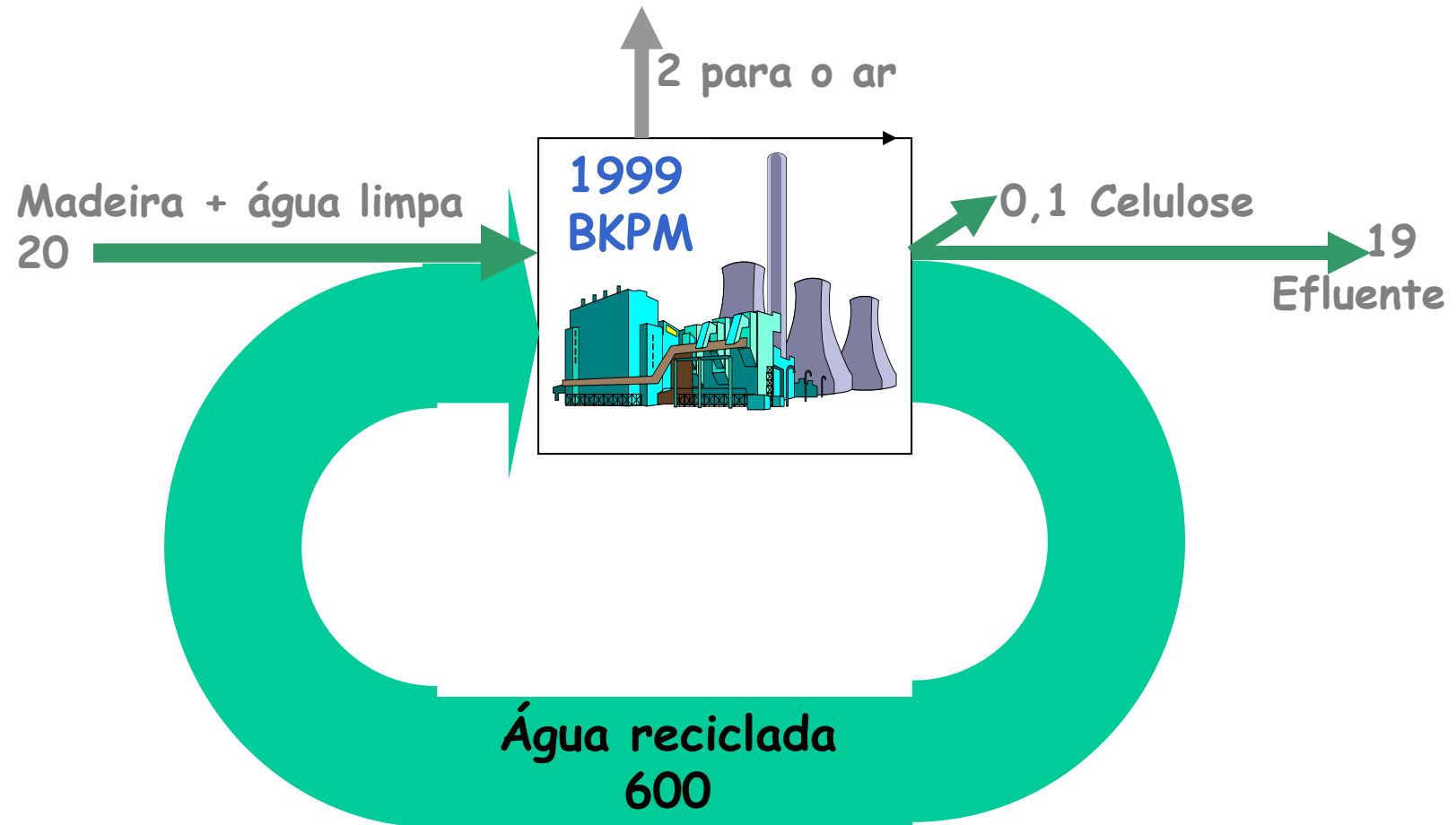
Deslignificação

- Aumento da seletividade da deslignificação por abaixamento da temperatura e pela otimização dos perfís de oxidação dos orgânicos dissolvidos e dos íons hidróxido e sulfito.
- Pré-tratamentos para aumentar a seletividade da lignina e remover metais.
- Polissulfeto para a preservação das hemiceluloses na pasta.
- Oxidação da lignina na fase intensiva da deslignificação para aumentar a velocidade
- O maior uso de antraquinona dependerá de aumento da seletividade

Branqueamento

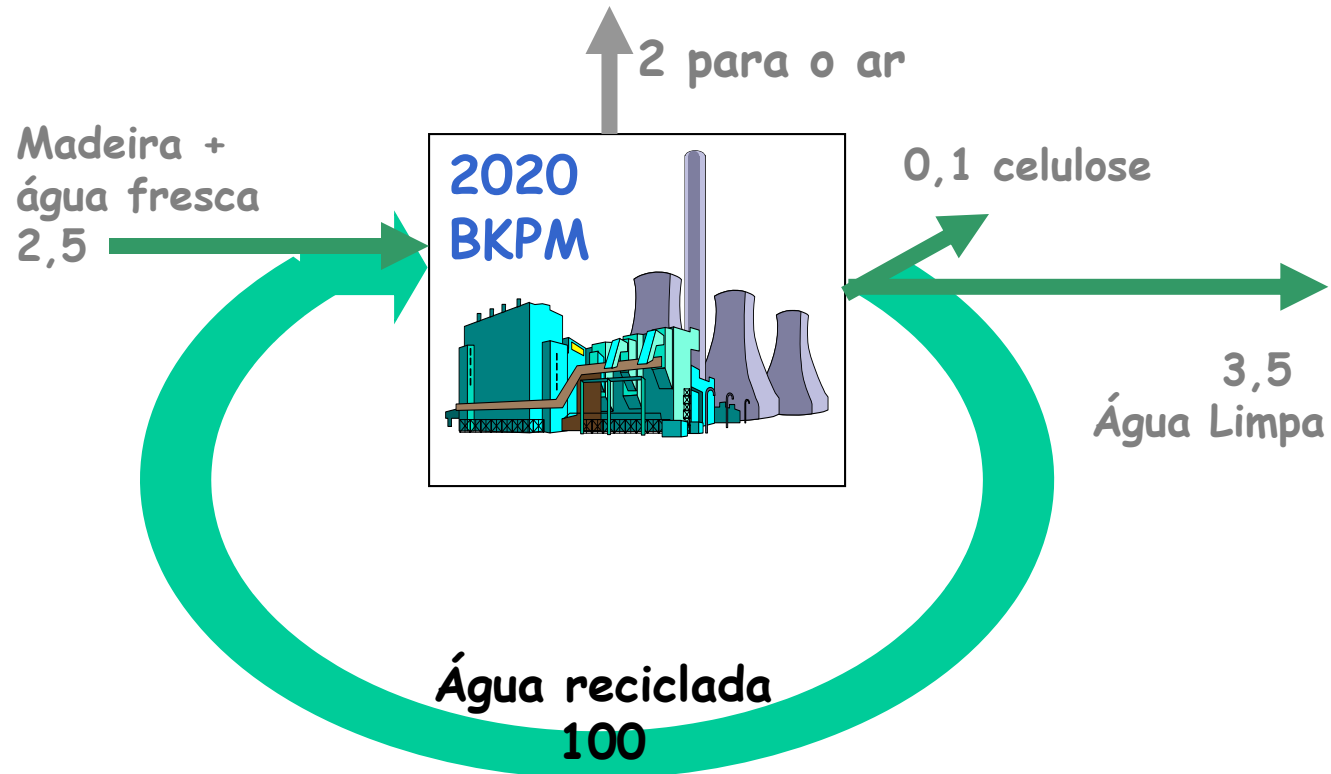
- Descarga no branqueamento pode diminuir até 5-10 m³ antes que ocorram problemas importantes. Os maiores são as incrustações de carbonato e de oxalato de cálcio, que precisam ser solucionados
- O branqueamento alcalino é a solução ideal mas a branqueabilidade e o tratamento de metais precisam ser melhorados
- O branqueamento de 2020 poderá ser baseado em oxigênio, peróxido de hidrogênio e ácido peracético, ou em outros agentes completamente novos.

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura



Balanço total de água para a fábrica
1999 BKPM, m³/ ton celulose

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura



Balanço hipotético de água total para a fábrica 2020 BKPM, em m^3/ton celulose

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura

Tendências atuais

- A água é bastante recirculada na fábricas atuais.
- A razão entre a alimentação e a saída é de 1/30: de cada m³ de água alimentado de fontes externas existem 30 m³ de água em circulação na fábrica.
- Os efluentes se originam de vazamentos de licor negro, condensados de evaporação do licor negro, do pátio de madeira, do sistema de branqueamento e da máquina secadora.
- Em 1999 o sistema de branqueamento é a fonte principal e contribui com 5-19m³ /ton celulose.
- Os valores de COD antes e depois do tratamento secundário são 25-30 e 10-15 kg/ton celulose. A maioria é originária de filtrados do efluente alcalino do branqueamento que são transportados do último lavador de oxigênio para o primeiro estágio neutro ou ácido do branqueamento onde eles também consomem reagentes e aumentam o risco de problemas de incrustação.

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura

Tendências para a mudança

- Em 2020 a água de alimentação poderá ser eliminada
- No balanço de energia a perda de calor com a água irá diminuir
- O menor valor teórico de alimentação da água é de 2-3 m³ por tonelada de celulose e essa seria a maior fonte de água.
- A descarga do efluente será menor que 5 m³/ton celulose e será água limpa do vapor do condensado.
- Não haverá emissão de COD porque todos os materiais orgânicos serão conservados na fábrica.
- Não será necessário tratamento secundário o que representa uma outra grande economia
- Um pré-requisito desse sistema é que sejam desenvolvidos sistemas competitivos para a remoção do calor e sistemas baratos para o manuseio de substâncias.
- Um uso baixo de água representa um uso mais efetivo de recursos que a longo prazo pode reduzir custos.

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura

Efeito do depósito crescente de substâncias orgânicas (build-up) no processo com o aumento do fechamento do sistema

| | Digestor | Sistema de Branqueamento | Evaporadores | Caustificação | Celulose |
|----------------------|-------------|--------------------------|--------------|-------------------------------|-----------------|
| Alto peso molecular | Incrustação | Mais reagentes | Incrustação | Influencia reação inorgânicos | COD |
| Baixo peso molecular | | Incrustação | Incrustação | | COD |
| Extrativos | Incrustação | Depósitos | Incrustação | | COD |
| Lignina | Incrustação | Mais reagentes | Incrustação | | COD |
| Carbohidratos | | Mais reagentes | | | COD |
| Condensados | | | | | Ensaio e cheiro |

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura

Efeito do depósito crescente de substâncias inorgânicas (build-up) no processo com o aumento do fechamento do sistema

| | Digestor | Sistema de Branqueamento | Evaporadores | Caldeira Recuperação | Caustificação | Ciclo de cal |
|--------|----------|--------------------------|--------------|-------------------------|---------------|--------------|
| KCl | | | | Entupimento Corrosão | | |
| Ca | Incrust. | Incrustação | Incrustação | | | |
| Mg | | | | | Má Drenagem | Carga Morta |
| Si | | | Incrustação | | Má Drenagem | |
| Al | | | Incrustação | | | |
| Mn, Fe | | Perda H_2O_2 | | | | |
| P | | | | | | Carga Morta |
| Ba | | Incrustação | | | | |

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura

Processos de separação

A reciclagem completa será prejudicada se esses problemas de re-precipitação dos orgânicos e inorgânicos não forem resolvidos.

Outra complicação é a acidificação progressiva das florestas que causa um aumento do nível de ferro, manganês e outros metais na madeira. Filtradores (rins) eficientes devem ser desenvolvidos para manter o build-up em níveis aceitáveis, antes dos digestores.

A precipitação do cálcio é a mais perigosa: pode ocorrer em muitas áreas do sistema e o cálcio pode precipitar lignina na celulose durante o cozimento e a lavagem.

Um cuidado adicional deve ser tomado para evitar o aumento do nível de cloro. Uma boa reciclagem pode manter o equilíbrio usando dióxido até o nível de 4-5 kg/ton celulose.

A fábrica de celulose eco cíclica - Uma visão da realidade futura

Áreas que precisam de melhoria para otimização do sistema

- Limpeza de condensados

- > desenvolvimento de tecnologia para eliminar traços de compostos que não podem ser removidos por stripping por vapor: amônia, terpenos, ácidos resinosos, fenóis, TRS e outros compostos não voláteis.

- Aperfeiçoamento do sistema de lavagem

- > uso de menos água em menos lavadores

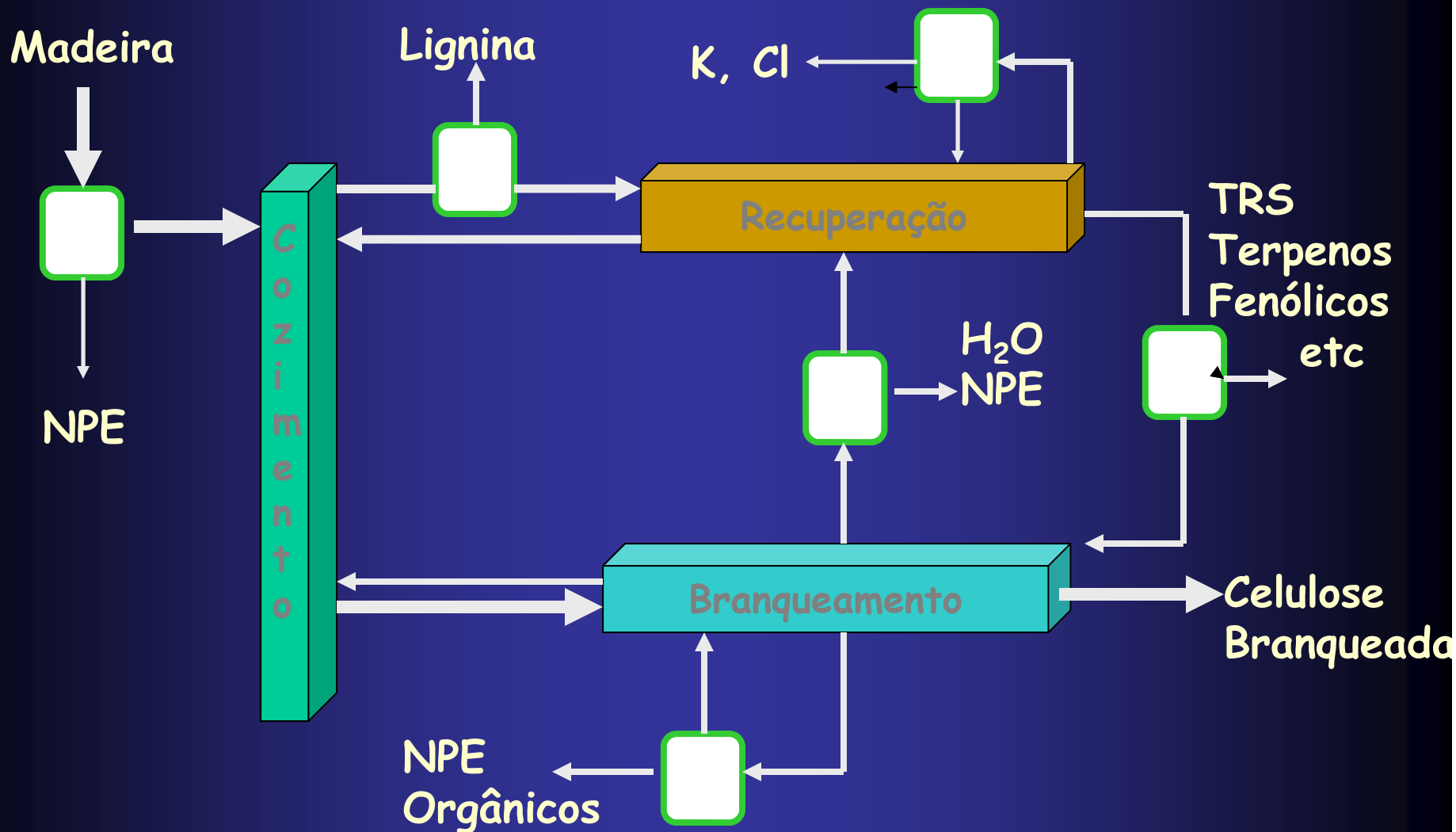
- lavadores melhores contribuirão para menor uso de reagentes, menor incrustação, eficiência de energia, seletividade de branqueamento e pureza da celulose.

- A pureza da celulose é a melhoria de maior peso no futuro

- Uso de 'kidneys'

- Os equipamentos de separação de componentes estranhos ao processo mais importantes serão os destinados a separação de cloretos, de potássio, de metais pesados da recuperação química, de metais e de orgânicos de alto peso molecular dos filtrados do branqueamento, a remoção dos metais da madeira, a limpeza dos condensados e a melhora da lavagem.

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura
Processos de separação importantes (kidney function) na fábrica
2020 BKPM



NPE - elementos fora do processo

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura

Resíduos sólidos e subprodutos

A madeira possui quantidades apreciáveis de minerais e traços de elementos que saem da fábrica como sólidos inorgânicos ou sais dissolvidos. A quantidade de rejeito sólidos é de cerca de 50 quilos por tonelada de celulose para a fábrica 1999 BKPM.

Esse material pode ser vendido (o sal da caldeira da recuperação e do gerador de dióxido de cloro), incinerado, como os rejeitos orgânicos, ou usado como aterro.

Os aterros são formados com resíduos de madeira, cinzas, dregs, grits, cal, poeira da caldeira de recuperação e do forno de cal, o precipitado do tratamento de água, e outros rejeitos, como materiais de construção, solos e metais. Todos esses materiais devem ser considerados como fontes potenciais de matéria prima.

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura

Resíduos sólidos e subprodutos

A fábrica de 2020 não deverá produzir rejeitos sólidos.

O problema será achar uma solução custo-efetiva.

O precipitado do licor verde, que é formado principalmente de carbonatos e sulfetos, pode ser retornado ao eco-sistema florestal ou a agricultura,

após ser tratado para retirada da água e diminuição da alcalinidade e retirada dos metais pesados.

O cal pode ser usado para a melhora do solo.

O sulfato de sódio da caldeira de recuperação pode ser usado como matéria prima para soda ou para ácido sulfúrico se forem desenvolvidos métodos eficientes de produção. A fração orgânica pode ser usada como fonte de energia ou para a melhoria do solo.

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura

Emissões gasosas

Principais emissões da BKPM 1999:

dióxido de enxofre, compostos de enxofre reduzidos (odor),
óxidos de nitrogênio, compostos orgânicos voláteis (VOCs),
vapor de água e poeira alcalina.

As emissões de enxofre e nitrogênio já estão em níveis baixos.

O nível de odor poderá ser diminuído mais coletando os gases não condensáveis diluídos e os tratando separadamente, ou então junto com os concentrados, na caldeira de recuperação.

A emissão de nitrogênio será diminuída por meio de scrubbers na caldeira de recuperação, pela adição de redutores na recuperação ou pelo tratamento do licor branco.

A instalação de scrubbers adequados pode diminuir a visibilidade causada pela formação de vapor d'água nas chaminés.

A fábrica de celulose ecocíclica: Uma visão da realidade futura
Emissões gasosas da fábrica 2020 BKPM, comparadas
com as relativas a 1970 e 1999

| | 1970 | 1999 | 2020 |
|------------------|------|------|------|
| NO ₂ | 1,8 | 1,2 | >0 |
| SO ₂ | 1,7 | 0,4 | >0 |
| Poeira | 1,7 | 0,9 | >0 |
| H ₂ S | 0,1 | 0,05 | >0 |

Aspectos do maior aproveitamento
de energia pelas fábricas de celulose
de 1973 a 1999

Situação na Suécia

Descascamento

1975

Descascamento a sêco, 70% de madeira em troncos, 30% de cavacos de serraria

1993

Descascamento a sêco, 70% de madeira em troncos, 30% de cavacos de serraria

1999

Descascamento a sêco, 70% de madeira em troncos, 30% de cavacos de serraria

Digestor

1975

Contínuo, dois sistemas flash com lavagem a alta temperatura.

1993

Contínuo, dois sistemas flash, cozimento ITC (isotrópico)

1999

Contínuo, dois sistemas flash, cozimento ITC (isotrópico)

Lavagem e peneiragem

1975

Alta temperatura, difusor e filtro de peneiragem

1993

Alta temperatura, difusor pressurizado, ou então lavadores pressurizados.
Condensados da evaporação são usados na deslignificação por oxigênio

1999

Alta temperatura, difusor pressurizado, ou então lavadores pressurizados.
Os efluentes alcalinos do sistema de branqueamento são usados na deslignificação com oxigênio.

Deslignificação com oxigênio

1975

Não aplicada

1993

Um estágio

1999

Dois estágios com lavagem intermediária

Sistema de Branqueamento

1975

C/D E H D E D com 12,5% de ClO_2 no estágio C/D.
Baixo consumo de vapor. Filtros lavadores.

1993

D EOP D D - Temperaturas intermediárias.
Sem consumo de vapor. Prensas lavadoras.

1999

Q OP DQ PO - Temperaturas altas no estágio PO.
Vapor é necessário. Prensas lavadoras.

Máquina de secagem

1975

Secador com ventilador para vapor de baixa pressão.
Teor de sólidos da polpa que entra no secador é 47%

1993

Secador com ventilador para vapor de baixa pressão.
Teor de sólidos da polpa que entra no secador é 47%

1999

Secador com ventilador para vapor de baixa pressão.
Teor de sólidos da polpa que entra no secador é 50%

Evaporadores

1975

6 efeitos, stripper integrado
Sólidos na lixívia 65 %

1993

Pré-evaporador, 6 efeitos, stripper integrado
Sólidos na lixívia 72 %

1999

6 efeitos, stripper integrado para todo o condensado
Sólidos na lixívia 80 %. É necessária uma pequena
quantidade de vapor de média pressão.

Caldeira de recuperação

1975

Vapor de alta pressão 5,9 MPa(e) 450°C.
Economizador de circulação é usado para o pré-aquecimento do ar de combustão. A temperatura do fluxo de gas é 120°C

1993

Vapor de alta pressão 8,9 MPa(e) 420°C.
Super aquecimento externo na caldeira de hog-fuel.
Descobriu-se que é melhor acender o super aquecedor externo com óleo ou com pó de casca. Soot-blowing com o vapor da turbina.

1999

Vapor de alta pressão 7,8 MPa(e) 485°C.
Soot-blowing com o vapor da turbina.

Scrubber na caldeira de recuperação

1975

Não aplicado

1993

Não aplicado

1999

Não aplicado

Caustificação

1975

Clarificador do licor verde, filtração do licor branco, conteúdo de sólidos secos da lama de cal **65 %**

1993

Filtração do licor verde e do licor branco, conteúdo de sólidos secos da lama de cal **75 %**

1999

Filtração do licor verde e do licor branco, conteúdo de sólidos secos da lama de cal **80 %**

Forno de cal

1975

Forno de cal convencional, aquecido com queima de óleo.
Precipitador eletrostático

1993

Secador da lama de cal
Aquecido com queima de pó de casca.
Precipitador eletrostático

1999

Secador da lama de cal
Aquecido com queima de pó de casca.
Precipitador eletrostático

Caldeiras de Hog Fuel

1975

Não especificada

1993

Leito fluidizado borbulhante com superaquecedor separado para o vapor da caldeira de recuperação.
Precipitador eletrostático

1999

Leito fluidizado borbulhante
Precipitador eletrostático

Turbinas de vapor

1975

Pressão reversa e turbinas de condensação

1993

Pressão reversa e turbinas de condensação

1999

Pressão reversa e turbinas de condensação

Tratamento de gases não condensáveis

1975

Stripper (lavador) para os condensados.
Os gases fortes são queimados no forno de cal

1993

Stripper (lavador) para os condensados.
Os gases fortes são queimados no forno de cal
Lavador (stripper) de metanol

1999

Stripper (lavador) para todos os condensados.
Lavador (stripper) de metanol
Combustão dos gases fracos e fortes na caldeira
de recuperação

Tratamento de efluentes

1975

Reservatório aerado e precipitação química
(precipitação química não é economicamente
exequível hoje)

1993

Reservatório aerado ou lodo ativado

1999

Reservatório aerado ou lodo ativado

Excesso de calor

1975

Usado na produção de eletricidade na turbina de condensação

1993

Usado na produção de eletricidade na turbina de condensação

1999

Usado na produção de eletricidade na turbina de condensação