

## Fechamento de Circuitos de Águas na Indústria de Celulose

Cláudio Mudado Silva  
Laboratório de Celulose e Papel  
Departamento de Engenharia Florestal



---

---

---

---

---

---

---

---

### Conceito Geral

Reutilização dos efluentes e recuperação dos insumos químicos de forma a reduzir os efeitos ambientais negativos provocados pelo lançamento destes no ambiente, sem no entanto comprometer o custo e a qualidade do produto final

---

---

---

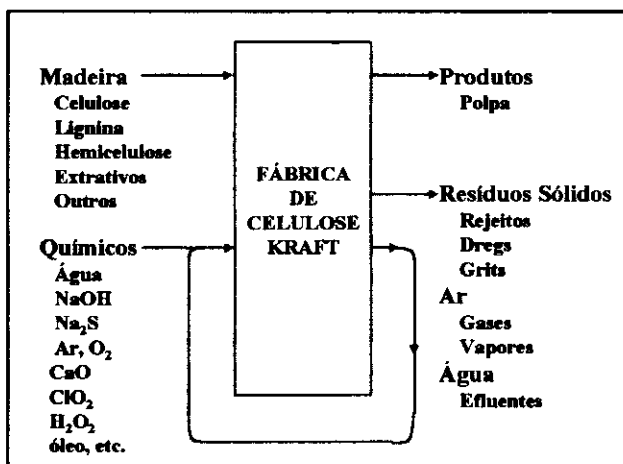
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---

### História da concepção da primeira fábrica c/ efluente zero

- Proposta por Rapson em 1967
- Desenvolvida pela ERCO Envirotech
- Adotada pela Great Lakes Forest Products in 1974
- Operada de 1977 a 1985
  - Eliminação dos efluentes do branqueamento através de sua reutilização
  - Sistema de recuperação de NaCl pela evaporação do licor branco

---

---

---

---

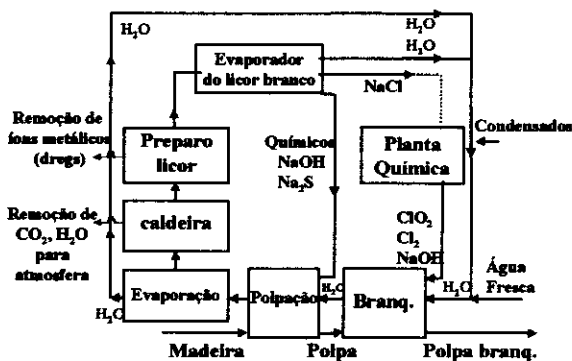
---

---

---

---

### Esquema geral da fábrica (1973)




---

---

---

---

---

---

---

---

### Benefícios Esperados

- eliminação da poluição hídrica
- economia de energia
- eliminação da ETE e os seus custos operacionais associados a ela
- redução do consumo de água, criando oportunidade de se instalar fábricas longe de grandes mananciais

---

---

---

---

---

---

---

---

### **Equipamentos e Processos**

- capacidade 700 t/d
- digestor contínuo ( $\kappa$  30)
- branqueamento: (DC)EDED, 50% substituição
- volume de efluentes do branqueamento quando não havia recuperação: 16 m<sup>3</sup>/t
- quatro sistemas de derrames

---

---

---

---

---

---

---

---

### **Problemas Operacionais**

- Aumento do consumo de insumos químicos no branqueamento devido ao acúmulo de matéria orgânica no sistema
- Excesso de espuma na interface entre os estágios alcalino e ácido da planta de branqueamento requerendo altas dosagens de anti-espumante, o que acarretou problemas de depósitos

---

---

---

---

---

---

---

---

### **Problemas Operacionais (cont.)**

- Dificuldade de se gerenciar o balanço de água (insuficiente volume de armazenamento dos filtrados)
- Surgimento de depósitos e incrustações nas tubulações e equipamentos, em particular depósitos a base de cálcio no branqueamento e nos evaporadores de licor branco

---

---

---

---

---

---

---

---

### **Problemas Operacionais (cont.)**

- Corrosão na área de recuperação, principalmente no super-aquecedor da caldeira de recuperação que necessitou ser recuperado após 17 meses de operação
- Corrosão no sistema de recuperação de NaCl
- A introdução de matéria orgânica através dos filtrados no lavador de gases do forno acarretou problema no processamento da cal

---

---

---

---

---

---

---

---

### **Problemas Operacionais (cont.)**

- Dificuldade de se manter o balanço enxofre-sódio
- Capacidade dos sistemas de derrames insuficiente
- Problemas de projeto exacerbaram outros problemas
  - digester não operava uniformemente
  - lavadores da polpa marrom não eram eficientes o bastante para remoção da matéria orgânica
  - evaporadores de licor preto não tinham capacidade de processar os derrames

---

---

---

---

---

---

---

---

### **Sucessos desta experiência**

- consumo de água no branqueamento: 16 m<sup>3</sup>/tsa
- substituição de 50% de ClO<sub>2</sub>
- reuso de 65% dos efluentes do branqueamento
- processo de recuperação de NaCl operou satisfatoriamente e produziu sal de qualidade suficiente para reuso no gerador de ClO<sub>2</sub>

---

---

---

---

---

---

---

---

### **Lições retiradas desta experiência**

- Sistema deve levar em conta a química de todos os componentes
- Projeto deve considerar equipamento e material que seja compatível com as operações de fechamento de circuitos
- Deve-se considerar outros aspectos como:
  - economia
  - legislação
  - mercado

---

---

---

---

---

---

---

---

### **Aspectos Essenciais do Sistema**

- preparação da madeira (cavacos uniformes)
- cozimento modificado (redução do kappa, redução dos rejeitos, operação estável)
- lavagem da polpa marrom eficiente
- deslignificação com oxigênio
- sequências ECF e TCF
- sistema de recuperação com capacidade adequada
- sistema de tratamento dos condensados
- sistema avançado de controle
- tratamento de efluentes

---

---

---

---

---

---

---

---

### **Balances**

- Água
  - lavagem contra-corrente
- Químicos
  - sulfidez
- Energia
  - aumento da carga orgânica para a caldeira de recuperação

---

---

---

---

---

---

---

---

### Elementos Não Processáveis

Efeitos Negativos	Elementos
Incrustação	Ca, Al, Si
Corrosão	K, Cl, Mg
Entupimento na CR	K, Cl
Efeitos negativos no branqueamento	Mn, Fe

---

---

---

---

---

---

---

---

### Custos

- Fábrica produzindo 1500 tsa/d (hardwood)
  - fechando circuito ECF = US\$ 71 milhões
  - fechando circuito TCF = US\$ 55 milhões

Parker, 1994

---

---

---

---

---

---

---

---

### Tecnologias de recuperação dos filtrados ácido e alcalino do branqueamento

- Union Camp, Franklin VA - C-Free softwood line - ozone/ECF
- Champion International, Canton NC - BFR softwood line - ECF

---

---

---

---

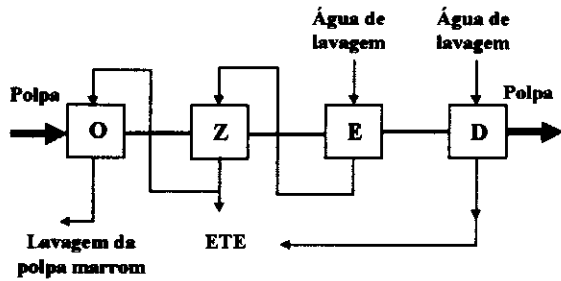
---

---

---

---

### Reuso dos filtrados na Union Camp




---

---

---

---

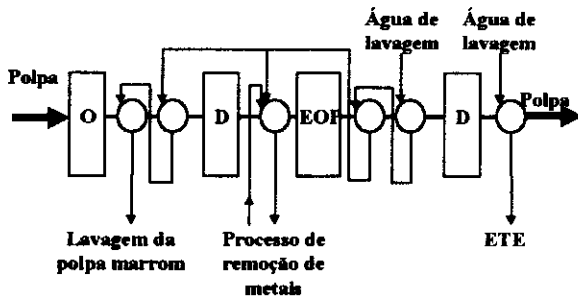
---

---

---

---

### Processo BFR™ da Champion




---

---

---

---

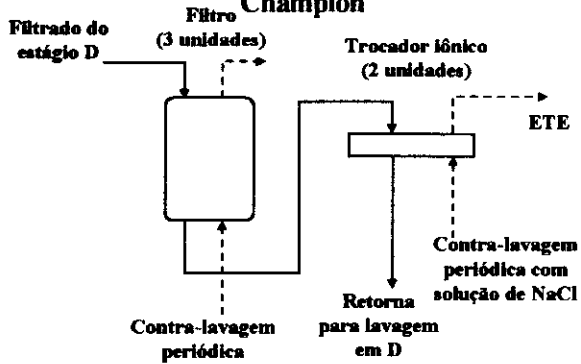
---

---

---

---

### Processo de Remoção de Metais (MRP) da Champion




---

---

---

---

---

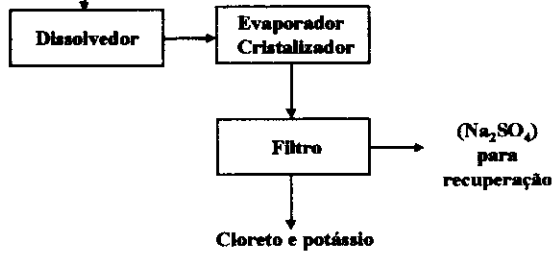
---

---

---

### Remoção de cloretos e potássio na Champion

Cinzas do precipitador eletrostático da CR



---

---

---

---

---

---

---

---

### Tecnologias de recuperação dos filtrados alcalinos

- Louisiana Pacific, Samoa CA - softwood - TCF
- Aspa Bruk AB, Aspa Sweden - softwood - TCF
- MoDo Cell AB, Husum - linha hardwood - ozone/ECF
- Crestbrook Forest Industries, Skookumchuk, B.C. - softwood - ECF

---

---

---

---

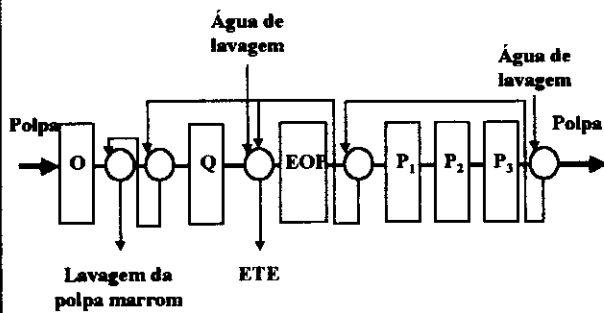
---

---

---

---

### Reutilização dos filtrados na Louisiana-Pacific



---

---

---

---

---

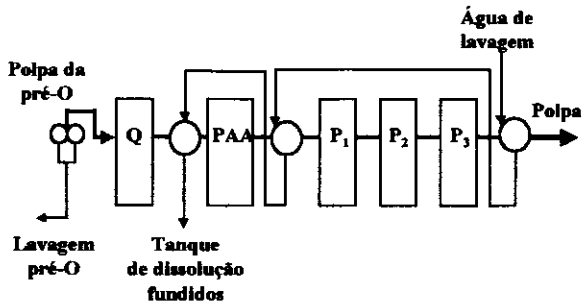
---

---

---



### Reutilização dos filtrados na Aspa Bruk




---

---

---

---

---

---

---

---

### Efeito do fechamento na qualidade da polpa

- Enocell
  - 560.000 t/ano (hardwood)
  - digestores superbatches
  - Q(PP)PP (mill trial)
  - recirculação dos filtrados em contra-corrente dos estágios P e 25% dos filtrados do 1º estágio P para lavagem da polpa no estágio Q
  - Nenhuma diferença foi notada na viscosidade, alvura e kappa
  - Aumento significativo de íons metálicos na polpa

Fiskari et al., 1997

---

---

---

---

---

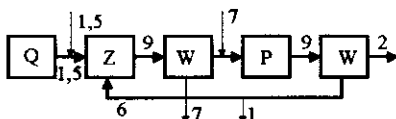
---

---

---

### Efeito do fechamento na qualidade da polpa

- Helsinki University of Technology
  - birch
  - QZP
  - reutilização de filtrados teve efeito significativo na viscosidade (reduziu), no kappa final (aumentou) e em menor grau na alvura (reduziu)



Fiskari et al., 1999

---

---

---

---

---

---

---

---

### **Efeito do fechamento na qualidade do efluente**

- UFV
  - reutilização de filtrados reduz significativamente o volume dos efluentes, mas aumenta consideravelmente as concentrações de DQO e DBO
  - estudo da caracterização e tratabilidade destes efluentes está sendo conduzido no NCP - UFV

---

---

---

---

---

---

---

---

### **Efeito do fechamento na qualidade do papel**

- UFV
  - o aumento da concentração de íons metálicos (ionic trash) poderá acarretar problemas na qualidade do papel, especialmente se a colagem for alcalina
  - pesquisas no NCP - UFV tem sido feita para quantificar tal efeito

---

---

---

---

---

---

---

---

### **Estratégias Atuais**

- Minimum-Impact Manufacturing - MIM Weyerhaeuser
- The Minimum-Impact Mill - Paper Task Force
- Bleach Filtrate Recovery - BFR - Champion
- Closed Loop Bleaching - MoDo
- The Eco-balanced Pulp Mill - Stora
- Progressive Systems Closure - Paprican
- Closed Cycle Technology - Simons
- Ecocyclic Pulp Mill - STFI

---

---

---

---

---

---

---

---

**Em que circunstâncias é ambientalmente importante se eliminar o efluente do branqueamento?**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Impacto do efluente do branqueamento**

- Conversão das fábricas a ECF e TCF eliminaram virtualmente a produção de compostos clorados persistentes e bio-cumulativos
- Problemas nos sistemas reprodutivos de peixes tem sido observado quando os mesmos são expostos a efluentes de algumas fábricas com branqueamento e sem branqueamento

---

---

---

---

---

---

---

---

**Significância ambiental de eliminar os efluentes do branqueamento**

- Minimizar perdas de licor preto e outros licores que contêm extrativos e otimizar lavagem para minimizar "carryover" para o branqueamento
- A eliminação dos efluentes do branqueamento devem ser considerados quando:
  - Água fresca é limitada
  - o corpo receptor é sensível ao recebimento de efluentes
  - autodepuração insuficiente

---

---

---

---

---

---

---

---