Fechamento de circuito de águas numa fábrica de papel *kraft* e sua influência no processo

*César Gonçalves**
*José Mangolini Neves***

O fechamento de circuito de águas numa fábrica de papel *kraft* é uma tecnologia muito interessante, pois faz com que se diminua consideravelmente o consumo de água a ser captada e, conseqüentemente, as perdas de fibras durante o processo, além de diminuir a quantidade de água que vai para o tratamento de efluentes.

Isto vem de encontro com a enorme pressão ambiental que as fábricas de celulose química estão sofrendo, no que diz respeito à garantia de nossa própria existência no futuro.

Como este é um problema bastante complexo para ser estudado, foi utilizado, como ferramenta auxiliar, o simulador *Gems (General Energy and Material Balance System)* desenvolvido na universidade de Idaho nos Estados Unidos.

Os objetivos deste trabalho foram, primeiramente, levantar informações sobre uma unidade industrial típica brasileira para a produção de pasta sulfato ou *kraft*, englobando as etapas de cozimento, branqueamento e recuperação dos reagentes. Segundo, estudar os blocos e subrotinas deste simulador de processos e, utilizando-se das informações coletadas anteriormente, simular uma unidade industrial denominada "padrão". Finalmente, promover a técnica do fechamento de circuito de águas na unidade, a fim de validar ou não o emprego da mesma e avaliar a sua influência no processo.

O processo sulfato considerado

A unidade industrial considerada inicia-se com a alimentação de toras de madeira de eucalipto que seguem para o descascador. As cascas, consideradas 8% da madeira, foram separadas para serem enviadas à caldeira de biomassa e as toras descascadas seguem para o picador, produzindo os cavacos, que passam por um classificador de peneiras, onde se considerou que 5% em peso é rejeitado.

O cozimento da madeira (1) é feito em digestor contínuo. Os cavacos aceitos na peneira passam, primeiramente, por um aquecimento de vapor direto que eleva a temperatura para cerca de 140°C e a pressão para cerca de 3,0 Kgf/cm^2. Os cavacos pré-aquecidos recebem vapor direto que retorna do "flasheamento" do digestor nos mesmos 3,0 Kgf/cm^2 de pressão, porém, acerca de 145°C de temperatura. A seguir, recebem o licor branco com cerca de 80°C em quantidade equivalente a 17% de álcali efetivo e 25% de sulfidez calculados sobre peso seco de madeira. Este licor é proveniente da área de recuperação de reagentes do processo e é complementado com licor negro fraco que é reciclado do digestor a cerca de 100°C, a fim de ser mantida a relação madeira/licor em 1:3,5. No digestor, estes licores são aquecidos indiretamente com vapor a pressão de cerca de 8 Kgf/cm^2 e 168°C de temperatura (4).

No digestor, ocorrem algumas reações exotérmicas entre alguns componentes da madeira e do licor branco (17). Estas reações elevam a temperatura do digestor para cerca de 170°C. Neste estágio do processo, cerca de 80% do álcali (íons OH^-) e 51% das fibras se dissolvem, gerando substâncias orgânicas e fornecendo um rendimento de 49%. Ainda ocorre a conversão de 10% do sulfeto presente no início do processo em sulfato. O calor da reação foi considerado ser 6.700 Kcal/kg de pasta gerada e o pH final igual a 12 [5].

Neste trabalho, foi considerada uma zona de lavagem *hi-heat* que recebe a pasta com 30% de consistência (6); a pasta deixa esta zona com 10% de consistência e o licor, separado da mesma, passa por um aquecimento indireto a 130°C e 5,0 Kgf/cm^2, retornando à zona *hi-heat* para ser utilizado na lavagem. A pasta que deixa esta zona é lavada com água ou licor negro fraco em contra-corrente até atingir 5% de consistência e é diluída até uma consistência de 3% para, assim, poder passar por uma peneira, onde 3% em peso é rejeitado. Finalmente, a pasta passa por um difusor onde a mesma é lavada até atingir 12% de consistência utilizando-se (em contra-corrente) o condensado limpo da seção de evaporação, antes de seguir para a etapa de pré-O_2.

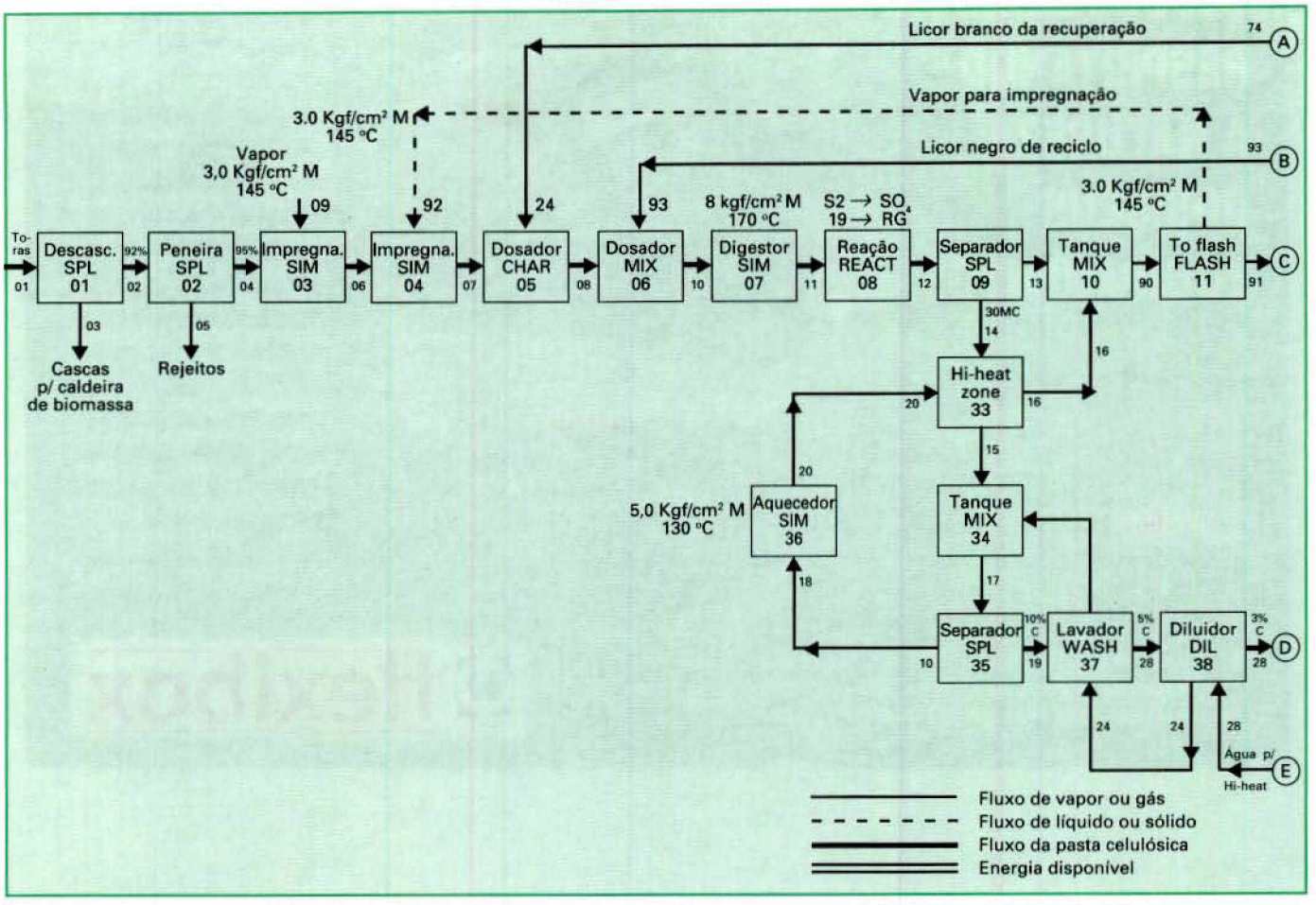
Uma seqüência tradicional e que foi utilizada na etapa do branqueamento (12) da pasta celulósica é: O C_D E_1 D_1 E_2 D_2. Na primeira etapa, também conhecida como "pré-O_2", utilizou-se o oxigênio comprimido na forma gasosa e a 15°C de temperatura.

Esta etapa é mantida a 90°C, pois é a temperatura com a qual se obtêm os melhores resultados. A cloração, com parte do cloro elementar substituído pelo dióxido de cloro (C_D), é usada adicionando-se vapor de modo a manter a temperatura entre 50 e 70 °C que é a faixa de temperatura recomendada pela literatura. Nesta

Continua na pág. 64

**César Gonçalves, aluno de mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.*
*** José Mangolini Neves, Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do Estado de São Paulo.*
Trabalho apresentado no 27° Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, realizado em São Paulo - SP - Brasil, de 07 a 11 de novembro de 1994.

Figura 1A: Fluxograma da preparação da matéria-prima, cozimento da madeira e da lavagem *hi-heat*



etapa, foi assumido o tipo de cloração alta, onde se utiliza 70% de dióxido de cloro (ClO_2) e apenas 30% de cloro elementar (Cl_2), com o propósito de se produzir o mínimo possível dos indesejáveis compostos organoclorados. A quantidade total de cloros ativos foi estimada em 2% sobre a pasta marron a ser branqueada. O dióxido e o cloro são alimentados na forma líquida a 5 e 25°C, respectivamente.

Em seguida, é feita uma lavagem alcalina (E1) mantendo-se a consistência final em cerca de 12% (11). A quantidade de hidróxido de sódio, utilizado nesta etapa, foi assumida ser de 2/3 da quantidade de cloro ativo na etapa anterior.

No estágio D1, o dióxido de cloro (ClO_2) é adicionado dissolvido em água gelada a 5°C. A quantidade a ser adicionada foi estimada em 1,2% da quantidade de pasta marrom a ser branqueada.

No estágio E2, novamente hidróxido de sódio foi adicionado na forma de solução e a temperatura ambiente. A quantidade a ser adicionada é da ordem de 0,8% de quantidade da pasta marrom a ser branqueada.

Finalmente, no estágio D2, a solução gelada de dióxido é adicionada a 5°C e a quantidade a ser adicionada foi da ordem de 0,5% da quantidade da pasta marrom a ser branqueada. Após a lavagem, foi feita uma diluição da pasta com água fresca a fim de abaixar a consistência de cerca de 12% para a faixa de 1%.

Na máquina de papel, a pasta branqueada é recebida na caixa de entrada e é submetida aos processos de desaguamento na mesa plana, onde desaguadores primários, secundários, bombas de vácuo α seção de prensas elevam, gradativamente, a consistência para 12%, 20%, 40% e 50%, respectivamente. A pasta segue já numa forma de folha úmida, para os cilindros secadores onde a água restante é evaporada elevando a consistência para 90%. O papel produzido deixa a máquina a 50°C de temperatura. Assumiu-se uma perda de 8% de fibras em toda a máquina de papel (2).

A etapa de recuperação de reagentes (18) inicia-se com o licor negro fraco, formado pela mistura do licor negro proveniente da lavagem da pasta marrom e pelo licor da lavagem da etapa pré-O_2. Este licor, com cerca de 17% de sólidos dissolvidos, foi encaminhado para o evaporador de múltiplos estágios, onde foi concentrado até cerca de 70% de sólidos dissolvidos, passando a ser denominado licor negro forte. Este licor segue para ser queimado na fornalha de recuperação e o condensado contaminado segue para a torre de *stripping* onde, com a ajuda dos gases do forno do cal, gera o condensado limpo que foi utilizado nas lavagens de contra corrente da pré-O_2 e do difusor.

O *make-up* é feito quando o licor negro forte proveniente da evaporação recebe o sulfato de sódio (Na_2SO_4) de reposição (10). Esta mistura é queimada na fornalha de recuperação. Os gases deixam a caldeira a cerca de 310°C e os fundidos a 850°C. Assumiu-se 10% de excesso de ar e que são formados 5,5 kg/ton de sólidos dissolvidos de borra (*dregs*) nos

fundidos. Os fundidos são dissolvidos, no tanque de dissolução, com licor negro fraco, proveniente da lavagem da borra dos clarificadores de licor verde, do clarificador de licor branco e do filtro da lama de cal. O licor verde gerado segue para o clarificador, onde a borra é separada do mesmo. A borra é lavada e desaguada em uma prensa desaguadora até atingir a consistência de cerca de 70%, antes de ser descartada; a água de lavagem segue para ser utilizada no lavador de lama de cal e, junto com a água da prensa desaguadora, segue para o tanque de dissolução.

O licor verde clarificado segue para o caustificador onde recebe o óxido de cálcio (CaO) proveniente do forno rotativo de cal e do *make-up*, transformando-se em licor branco. Foi assumido uma conversão de 85%. O licor branco é, então, clarificado, separando-se do mesmo, através de sedimentação que a lama de cal segue para ser lavada, filtrada a cerca de 70% de consistência e queimada no forno de cal.

O licor branco retorna para o digestor de cozimento, completando, desta maneira, o ciclo de recuperação dos reagentes utilizados no processo de preparação de pasta marrom.

Os gases da fornalha passam por um precipitador eletrostático, onde 95% do sulfato de sódio (Na_2SO_4), 95% do carbonato de sódio (Na_2CO_3), 95% do cloreto de sódio (NaCl), 90% do dióxido de enxofre (SO_2) e 90% de ácido clorídrico (HCl) são removidos e retornam para a entrada da fornalha de recuperação, no momento que é feita a reposição (*make-up*) do sulfato de sódio.

O fechamento de circuito de águas

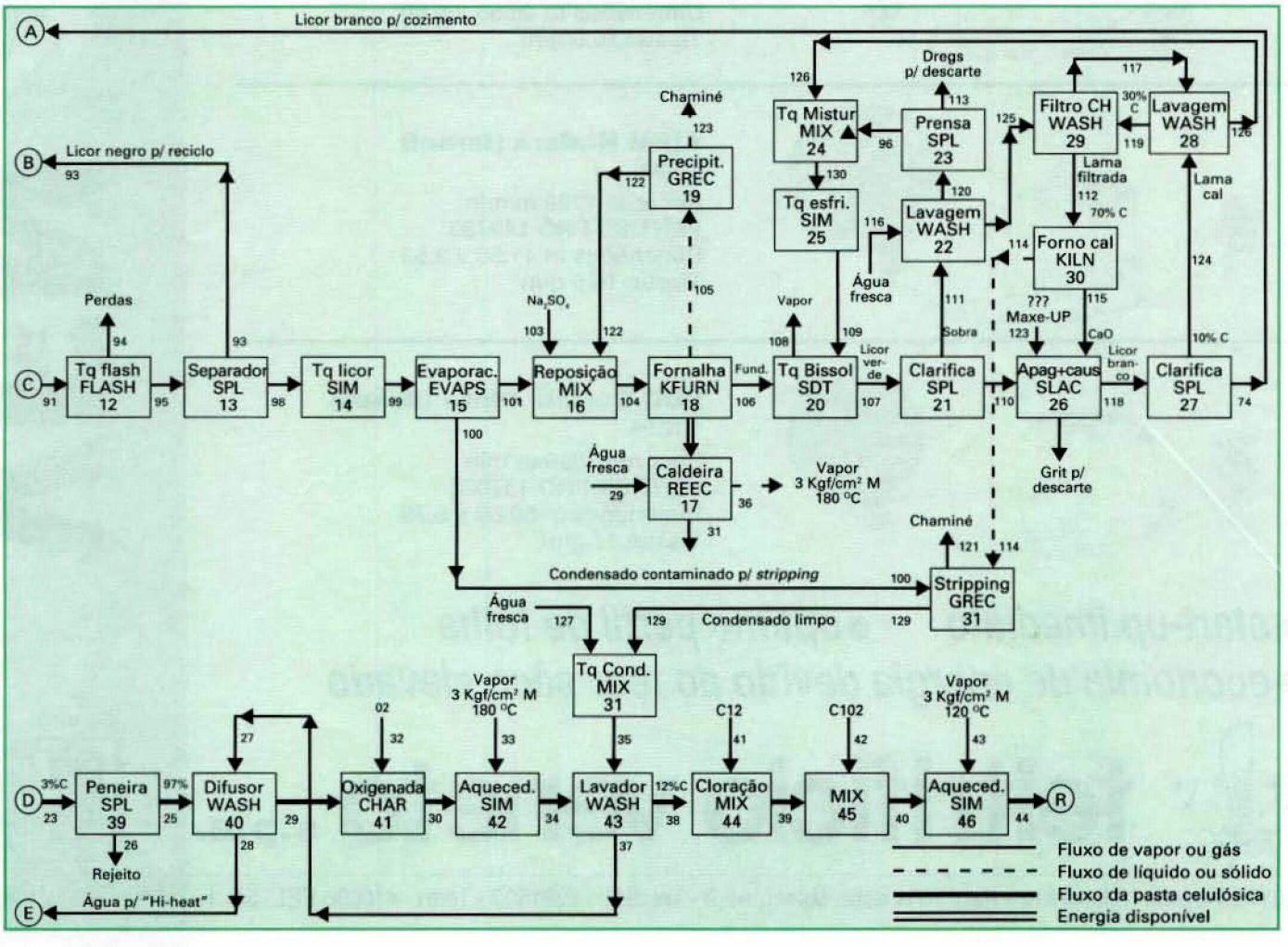
A fabricação de papel exige grandes quantidades de água, apresentando um consumo que varia de fábrica para fábrica, dependendo das condições locais e do tipo de papel a ser produzido (7).

Em alguns casos (fábricas antigas e mal localizadas), a água captada do rio está tão poluída que é inadequada para a fabricação de papel, havendo a necessidade de se gastar muito dinheiro no tratamento dela ou até de comprar água potável da prefeitura ou de empresas engarrafadoras. Em outros casos, o rio tem uma vazão tão pequena que o efluente da fábrica deve ter uma baixa vazão e um baixo índice de poluição. A operação de captação também não é barata, pois há a necessidade de bombear, decantar, utilizar reagentes químicos, filtrar e, novamente, bombear, de modo que a recuperação interna acabe ficando mais econômica.

A suspensão da massa da pasta, em grandes quantidades de água, implica em grandes perdas de fibras e, às vezes, também de material de enchimento (finos) e de sais e reagentes utilizados no processo. Johansson (8) mostrou que em fábricas suecas, entre os anos de 1971 e 1972, esta perda variava entre 30 e 100 kg de fibras por tonelada de papel produzido. Este número é bastante considerável, não só do ponto de vista econômico, como de escassez de matéria-prima e do fato de se conviver com problemas ambientais

Continua na pág. 68

Figura 1B: Fluxograma da evaporação do licor negro fraco, recuperação de reagentes e começo do branqueamento com a utilização do condensado



de hoje.

Isto tem forçado o desenvolvimento de novas técnicas para se reduzir o consumo de água, diminuir a quantidade de efluente e aumentar a recuperação das fibras. Assim, o fechamento do circuito das águas significa que uma parte da demanda de água fresca é substituída, por meio de reciclagem, pela água branca utilizada dentro do sistema.

Johansson (8) mostrou ainda que a economia obtida com a recuperação das fibras paga facilmente os investimentos feitos com o fechamento do circuito. No entanto, este fechamento nem sempre representa uma solução final para os problemas de meio ambiente, devendo ser complementado com um sistema de tratamento externo da água residual. Geralmente, este sistema apresenta um tanque de sedimentação, onde se remove a maioria dos sólidos em suspensão, havendo possibilidade, pelo uso de técnicas especiais, de se remover uma grande parte da demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Johansson (8) comenta, também, que, no caso de existência de mais de uma máquina de papel (fábrica de papel integrada), é de extrema importância que cada uma delas tenha o seu próprio sistema de recirculação de águas e que ele seja independente. As fibras recuperadas poderão, então, serem repostas no sistema, no estágio mais conveniente, reduzindo as perdas para a faixa entre 1 e 2% da produção. Recomenda, também, que a entrada e saída de água fresca seja feita num só ponto do processo; por exemplo, a entrada poderá ser feita na seção de prensas, através dos componentes utilizados nos sistemas de chuveiros da tela da máquina de papel. Comenta, ainda, que deve-se procurar reciclar ao máximo a água dos chuveiros e não limpá-la mais do que o necessário.

Tipos de água numa máquina de papel

Numa máquina de papel circulam vários tipos de água que, dependendo do grau de fechamento do circuito, podem passar a se converter em efluente (9). Podem ser classificados em:

a) água fresca: cristalina, sem poluentes e sólidos em suspensão e com temperatura baixa, até a faixa de 30°C;

b) água fresca morna: igual a anterior, porém com temperatura um pouco superior, na faixa de 35°C;

c) água fresca quente: igual às anteriores, porém com temperatura acima de 40°C;

d) água filtrada (em filtros de areia): sem sólidos em suspensão, porém apresentando DBO e materiais dissolvidos;

e) água de retornos: excedente da tela da máquina de papel com teor de sólidos de até 2.000 ppm, incluindo fibras do processo. Também possui químicos como o sulfato de alumínio, cola, amido e outros compostos que lhe conferem o poluente chamado DBO;

f) água de retorno peneirada: igual a anterior, porém com menos de 1.000 ppm e sem partículas grandes, como fibras;

g) água clarificada: de retorno, da qual foram retirados quase a totalidade dos sólidos, ficando com um teor entre 10 e 50 ppm. Ainda contaminada com DBO e material dissolvido;

h) efluente da máquina: água com todo o tipo de contaminantes, como óleos e graxas, DBO, sólidos dissolvidos, fibras do processo, produtos químicos etc.

As águas "a" e "b" podem ser lançadas diretamente no efluente fluvial. A água "c" precisa ser resfriada até menos de 40°C ou ser misturada com as águas "a" e "b", não ultrapassando os 40 °C, para assim, poder ser lançada no efluente fluvial. Já as águas "a" e "g" precisam passar por processos de remoção de DBO, antes de serem lançadas. As águas "e" e "f" precisam passar por um processo de remoção de sólidos, além da remoção da DBO, como para os tipos "d" e "g". E, finalmente, o tipo "h" precisa passar por processos de remoção de óleo e graxas, além dos sólidos e DBO, como nos tipos "e" e "f".

Problemas e limitações no fechamento de circuito

Canadell (3) relacionou alguns inconvenientes que poderiam ocorrer quando se promove o fechamento de circuito de águas numa fábrica de *kraft*. Os principais são:

a) perdas de produção e de qualidade do produto - assim que se promove o fechamento do circuito das águas, promove-se também um aumento na concentração de finos nas águas filtradas, até que se alcance o equilíbrio. Neste momento, começa a ocorrer dificuldades na drenagem da máquina, ocasionando uma pequena perda de produção com um aumento nas dificuldades de secagem e diminuição na qualidade final do produto;

b) diminuição no entrelaçamento das fibras - as fibras, conforme vão sendo recirculadas, sofrem uma degradação similar a que ocorre durante o refino da pasta. Aumenta-se, dessa maneira, os radicais -OH livres e, conseqüentemente, a hidrofilia. Isto contribui para reduzir a drenabilidade da máquina e diminuição do índice de rasgo e da porosidade no produto final;

c) aumento da corrosão - devido ao aumento da concentração dos íons dissolvidos que são indesejáveis ao processo, como ferro, manganês, cálcio, potássio e, principalmente, pela formação de sais que são gerados a partir desses íons, como cloreto de sódio e outros formados pelos íons $SO^{4=}$ ou SO_4^{2-} provenientes do sulfato de cozimento;

d) decantação de sólidos nas tubulações e canaletas - devido à alta concentração do efluente. Pode ocorrer, também, um ataque às telas da máquina de papel, causando mau cheiro. Isto se deve, principalmente, ao ácido sulfúrico formado pela decomposição do sulfato de sódio pelas bactérias redutoras e a presença dos íons H_3O^+ e sulfeto, que formam o ácido sulfúrico;

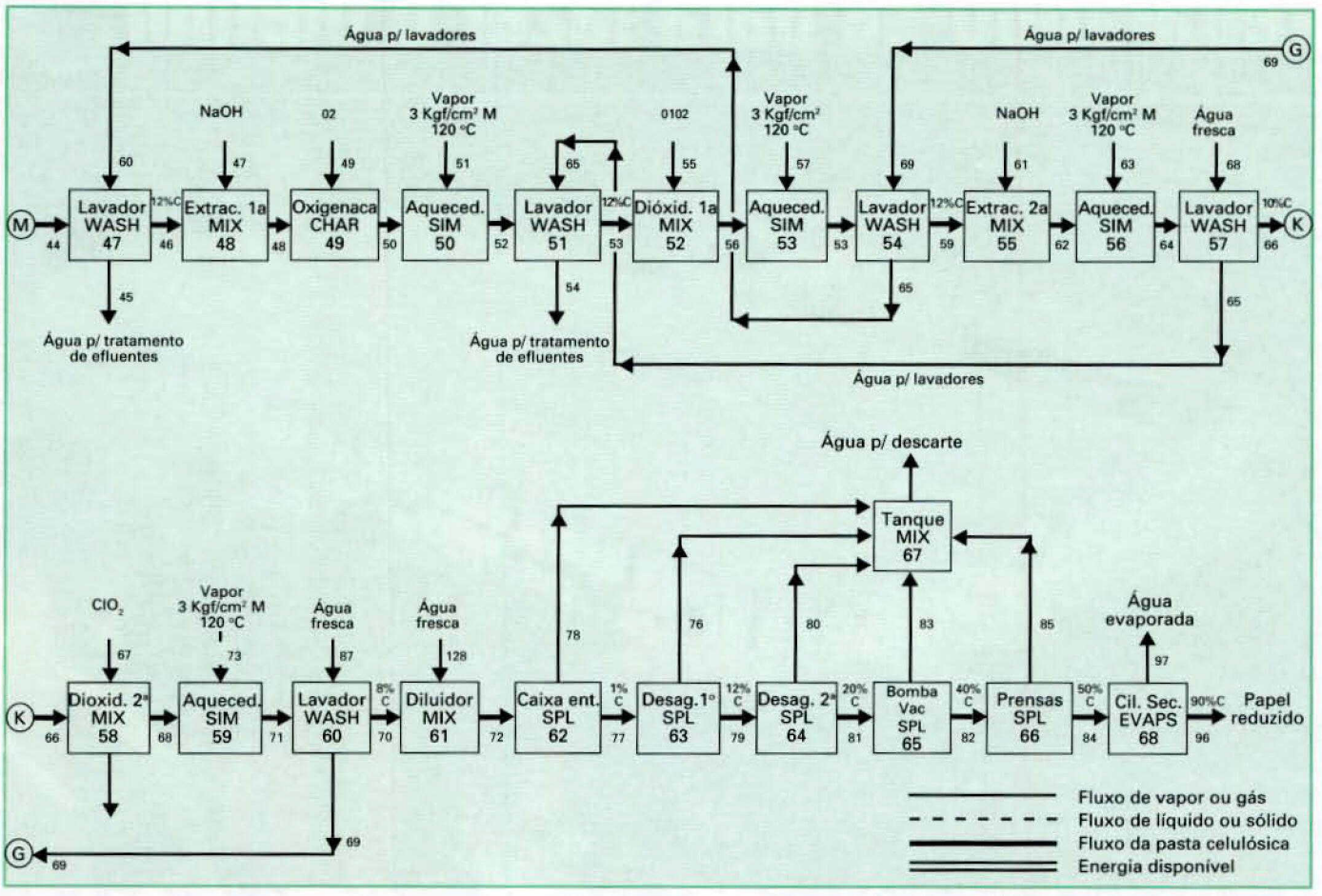
e) aumento da concentração microbiológica com conseqüente aumento da concentração de *pitch*, de furos na folha de papel e de quebras da máquina.

Recuperação de sais no fechamento de circuitos

Um dos maiores problemas devido ao fechamento de águas numa fábrica de sulfato ou *kraft* é a formação de sais, principalmente o cloreto de sódio, que ficam circulando, juntamente com os íons de ferro, manganês, potássio e outros metais, podendo causar sérios problemas de corrosão nos equipamentos da fábrica.

Rapson e Reeve (13,14) propuseram um sistema de eliminação ou diminuição dos efluentes de uma planta de branqueamento, reduzindo os altos custos dos tratamentos primário e secundário, além da preocupação com a legislação ambiental, que é muito severa no Canadá. Este sistema propõe que a pasta seja lavada com água fresca, operando em contracorrente e reduzindo, desta forma, a quantidade deste tipo de água. O condensado, proveniente dos evaporadores, depois de ser tratado com um pouco de cloro ou dióxido de cloro, a fim de serem oxidados os componentes sulfúricos mau cheirosos, poderia ser usado na lavagem do branqueamento. O processo ERCO-R3, envolvendo combinadamente um gerador, um evaporador e um cristalizador,

Figura 1C: Fluxogramam do branqueamento com a utilização de lavagens em contra-corrente e máquina de papel sem o fechamento de circuito



poderia ser usado para suprir o cloro e dióxido de cloro no branqueamento e, ainda, o sulfato de sódio do cozimento.

Estes pesquisadores (16) afirmaram que, numa planta *kraft* de fibra longa e promovendo-se a seqüência C_D E_1 D_1 E_2 D_2 na etapa do branqueamento, cerca de 53 kg de cloreto de sódio por tonelada de pasta branqueada poderiam ser gerados na unidade industrial e ser removidos do circuito através de um precipitador eletrostático colocado nos gases da chaminé da caldeira de recuperação da fábrica. A extração dos gases da caldeira com água formaria um licor saturado com cloreto e sulfato de sódio e, ainda, um resíduo sólido rico em sulfato de sódio.

Estes mesmos pesquisadores perceberam que, ao recuperar o cloreto de sódio do processo, diminuiria-se a quantidade de efluente que passaria por tratamentos primário e secundário, além de estar gerando matéria-prima para os insumos químicos da fábrica.

O simulador de processos

O simulador *Gems (General Energy and Material Balance System)* utilizado para este processo é um programa desenvolvido entre 1972 e 1977, na linguagem *Fortran*, pelos engenheiros químicos Lou Edwards e Ron Baldus da Universidade de Idaho nos Estados Unidos (5).

Esta "ferramenta" é um sistema modular cuja finalidade é realizar balanços de massa e energia, podendo, desta forma, simular toda uma unidade industrial ou simplesmente parte dela. Cada módulo, ou conjunto de módulos, representa uma operação unitária que está ocorrendo no processo como, por exemplo, uma filtração, concentração, desaguamento e outras. O conjunto total dos módulos é coordenado por um programa gerenciador que determina a ordem de cálculo entre os módulos. A resolução das equações de simulação é feita através de cálculos interativos onde apenas os dados da corrente de entrada do sistema são necessários para o início do programa.

Utilizando os módulos deste *software* e a partir da unidade industrial padrão descrita anteriormente, foi possível elaborar as figuras 1A, 1B E 1C que representam o diagrama de blocos da simulação da fábrica "padrão" com a utilização da técnica do fechamento de circuito nas etapas do branqueamento e máquina de papel.

Conclusões

A Unep (19) demostra que o consumo médio de água fresca numa fábrica de papel varia de 5 e 50 m³/t de pasta branqueada produzida, estando a média por volta de 27,5 m³/t.

Somando-se as correntes de água fresca utilizadas na fábrica, temos o valor de 37 m³/t, conforme pode ser visto na figura 3. Este valor é bastante coerente, pois, além de se enquadrar perfeitamente nos valores da Unep, é facilmente explicado pelo fato de ter sido utilizado o condensado da evaporação nas lavagens da pasta marrom, o que diminui consideravelmente a quantidade de água fresca de uma fábrica. Porém, este valor foi diminuído para 21,0 m³/t, conforme pode

Continua na pág. 72

ser visto na mesma figura, ao utilizarmos a água proveniente do tanque da máquina de papel nas lavagens contra-corrente do branqueamento. Utilizando-se a técnica de fechamento de circuitos, também foi possível eliminarmos cerca de 16,0 m^3/t do efluente gerado na máquina de papel.

Além da diminuição da utilização de água fresca para o processo e de sua conseqüente diminuição dos efluentes que vão para o tratamento, tivemos um ganho de fibras para o processo. No caso deste trabalho, conseguiu-se um ganho de cerca de 4,0% no papel produzido, pois a fábrica passou a produzir 1.040 ton papel/dia contra as 1.000 ton papel/dia da fábrica sem a utilização desta técnica.

Em nível de economia de energia, o fechamento é também bastante válido, pois a água que retorna para os lavadores de branqueamento está na faixa do 40 a 50°C e, desta maneira, existe a possibilidade da diminuição da quantidade de vapor necessário para atingir a temperatura ideal nesta etapa.

Sendo assim, se torna fácil concluir que a técnica de fechamento de circuito é extremamente válida, porque diminui consideravelmente a quantidade de água fresca necessária à fábrica, a quantidade de efluente que precisa seguir para tratamento de efluentes e ainda aumenta o rendimento do processo na máquina de papel.

Referências bibliográficas

01. Assumpção, R.M.V. et al Polpação Química. Ins Almeida, M.L.O. Celulose e Papel - Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica. Cap. VI, Vol. I, 2ª Edição, SENAI/IPT, São Paulo, 1988. Pág. 169 à 312.

02. Aracruz Celulose S/A. Fabricação de Celulose, Aracruz - Espírito Santo, setor de treinamento, 1993.

03. Canadell, J.G. El Problema de la Contaminacion en lsa Fabricsa de Papel y Carton, La Contaminacion en la Industria Papelera, Escuela Tecnica Superior de Ingenieros Industriais de Terrasa, Universidad Politecnica de Barcelona.

04. Clayton D.W. The Chemistry of Alkaline Pulping, INs MacDonald, R.G.; Franflin, J.N. The Pulping of Wood, Cap. VIII, 2ª Edição, New York, McGrall-Hill, 1969, Vol I, Pag. 347 à 385.

05. Edwards, L.; Baldus, R. GEMS - Documentation describing data input, simulation control and simulation options, General Energy and Material Balance System: A modular computer system for pulper and paper applications. Chemical engineering Departament, University Idaho, Idaho Research Foundation. Inc, 1972.

06. Edwards, L.; Baldus, R. Mass and Energy Balance for Complete Fraft Mills, AICHE Symp., Nº 184, Vol. 75, 1979.

07. IVL - Konsult AB. Mechanical, Thermomechamical and chemimechamical pulping and bleaching. Sweden, 1982.

08. Johansson, C. Fechamento do Sistema de Água Branca das Máquinas de Papel - Uma Proteção Lucrativa do Meio Ambiente, Elof Hansson do Brasil,

Figura 2: Fluxograma do branqueamento com a utilização de lavagens em contra-corrente e máquina de papel com o fechamento de circuito

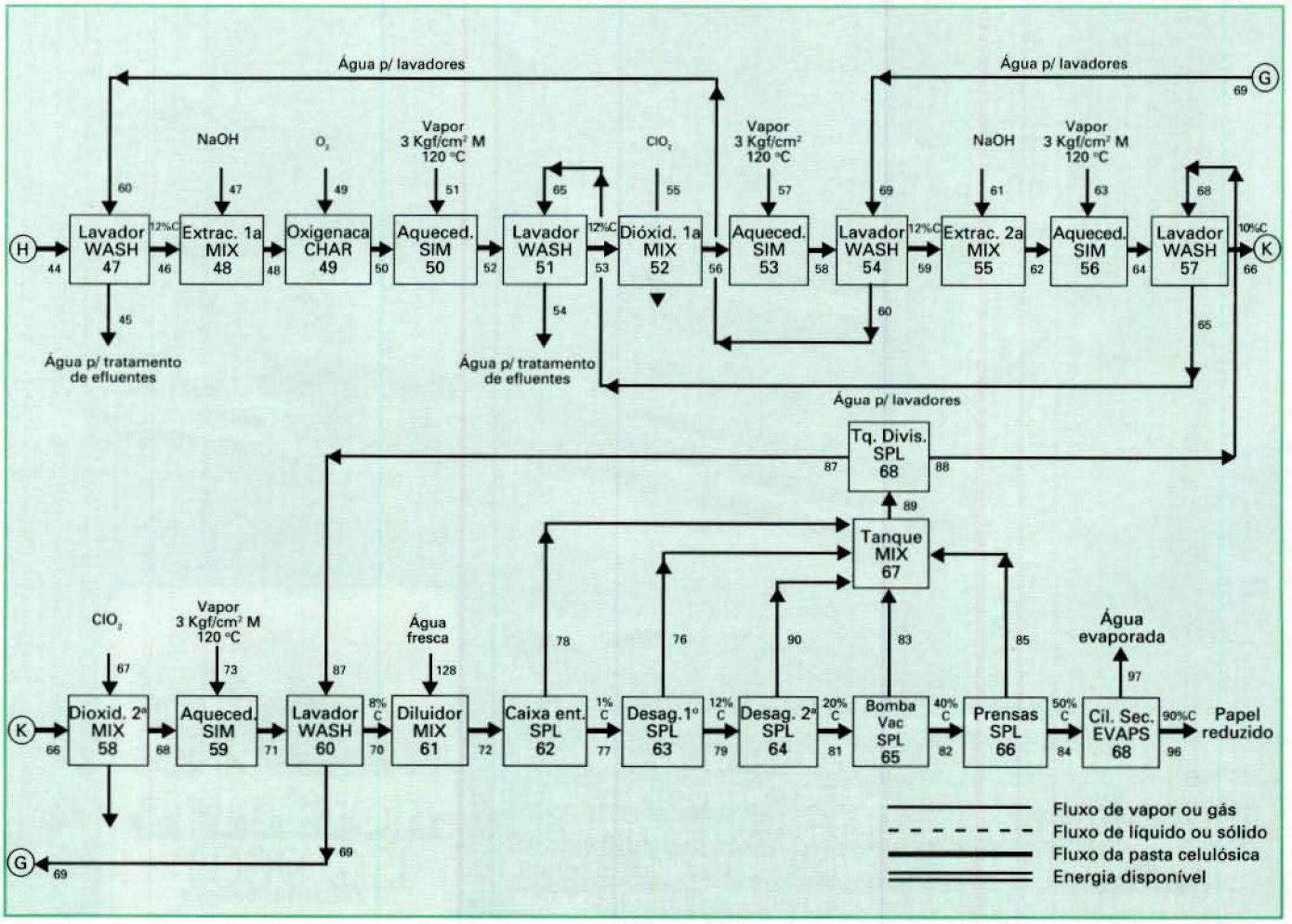
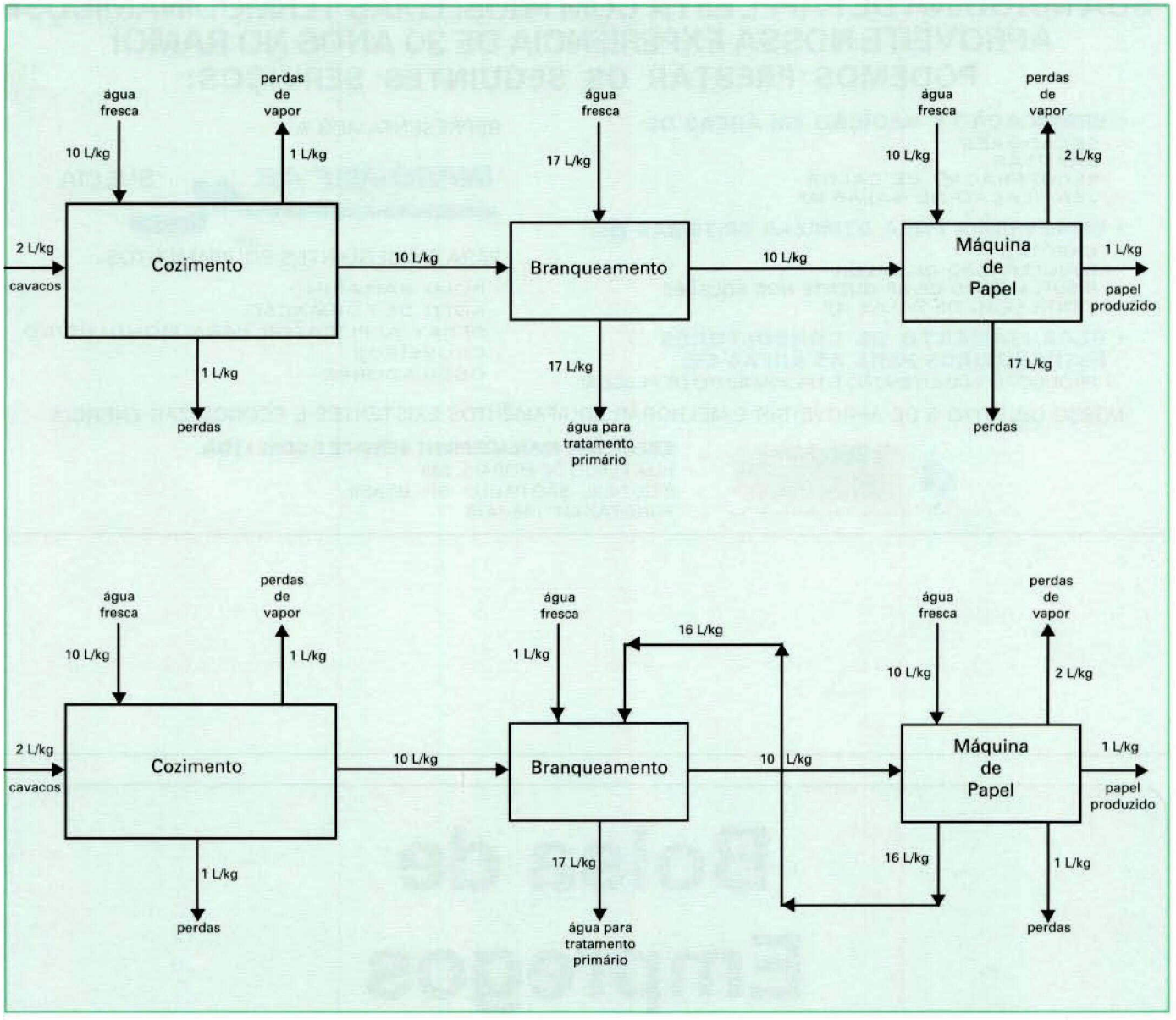


Figura 3: Comparação entre uma fábrica *kraft* sem e com o fechamento de circuito



Industrins Valten-Och Luftvard Aktiebolag.

09. Jorquera, C.L.; Masuko, R.K.I. Técnicas para Redução do Efluente Líquido em Máquinas de Papel, 20º Congresso Anual de Celulose e Papel, São Paulo, Brasil, 16 à 20 de novembro de 1987, 17p.

10. Lima, A.F., Processamento de Pastas Celulósicas. IN: Almeida, M.L.O. Celulose e Papel - Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica, Cap. III, Vol. I, 2ª Edição. SENAI/IPT, São Paulo, 1988. Pag. 405 à 425.

11. Maggion, R.D., Branqueamento de Pastas Celulósicas. IN: Almeida, M.L.O., Celulose e Papel - Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica, Cap. IX, Vol. I 2ª Edição, SENAI/IPT, São Paulo, 1988. Pag 427 à 509.

12. O'Neil, F.W.; Sarkanen, K.; Schuber, J. Bleaching. IN: Libby, C.E. Pulp and Paper Science and Tecnology, Cap. XIII, Vol. I, New York, McGrall-Hill, 1962. Pag. 346 à 419.

13. Rapson, W.H. A New Chemical Supply System for Kraft Pulping and Bleaching, Pulp Paper Mag. Can. 66(4): T-295 (1965)

14. Rapson, W.H. The Feasibility of Recovery of Bleach Plant Effluent to Eliminate Water Polluition by Kraft Pulp Mills, Pulp Paper Mag. Can. 68(12): T-635 (1967).

15. Rapson, W.H. New Concepts for Stream Improvment by Recovery of Beach Plant Liquors from Kraft Pulp Mills, Pulp Paper Mag. Can. 69(7): T-161 (1968).

16. Rapson, W.H. Effects os Recovery of Bleach Palnt Effluents on the Kraft Chemical Recovery Process, Proceedings of the Symposium on Recovery of Pulping Chemicals held in Helsinki, Sweden, 1968.

17. Swart, J.N.; MacDonald, R.C. Alkaline Pulping, IN: Libby, C.E. Pulp and Paper Science and Tecnology, Cap. IX, Vol. I New York, McGrall-Hill, 1962. Pag. 160 à 197.

18. Tomlinson, C.L.; Richter. F.H. The Alkali Recovey System, IN: MacDonald, R.G.; Franflin, J.N. The Pulping of Wood, Cap. X, Vol. I, 2ª Edição, New York, McGrall-Hill, 1969. Pag. 576 à 593.

19. United Nations Environment Programme, Environmental Management in the Pulp and Paper Industry, UNEP - Industry and environment Manual Series, Moscow, 1981 ▲