

# **Avaliação técnica do uso de antraquinona na polpação Kraft e suas perspectivas econômicas**

## **Technical evaluation of the anthraquinone use in Kraft pulping and theirs economic perspectives**

José Mauro de Almeida, Ph.D.  
Deusanilde de Jesus Silva, M.Sc.

Ambos Consultores Técnicos da FiberTechs  
Fiber Technologies Consultoria e Serviços Técnicos S/C LTDA  
CEP 06447-450 - Barueri – SP - Brasil  
Email: [jmaurofibertec@hotmail.com](mailto:jmaurofibertec@hotmail.com)

### **RESUMO**

O uso de antraquinona tem sido uma alternativa para diferentes fábricas. Sua utilização engloba razões que envolvem desde aspectos voltados às questões ambientais até incrementos de produção. O presente trabalho apresenta uma ampla visão sobre a questão do uso de antraquinona do ponto de vista técnico e suas perspectivas econômicas. A primeira parte consiste em uma revisão abordando diversos aspectos técnicos sobre a utilização de antraquinona em processos alcalinos de polpação e um breve comentário sobre os mesmos. A segunda parte compreende um enfoque econômico sobre o tema. São apresentados alguns aspectos de literatura e uma abordagem própria sobre essa questão. Por fim, pode ser concluído que, para se alcançar o maior potencial de benefícios disponíveis, a aplicação de antraquinona depende, efetivamente, de uma análise técnica criteriosa de formas a se estabelecer uma estratégia de uso. Essa estratégia é específica para cada unidade produtora.

**Palavras-chave:** Antraquinona, Avaliação técnica, Polpação kraft, Rendimento, Número kappa, Qualidade, Perspectivas econômicas, Estratégia de uso

### **SUMMARY**

The anthraquinone use has been an alternative for different mills. Its use includes reasons that involve from environmental aspects to increase of production. This work presents a wide vision about the use of anthraquinone under the technical point of view and its economic perspectives. The first part consists of a revision broaching several technical aspects about the anthraquinone use in alkaline processes and on brief comments about the same ones. The second part includes an economic focus about the theme. Some literature aspects and an own approach are presented. Finally, it can be concluded that, to reach the major potential of available benefits, the anthraquinone application depends on an adequate technical analysis to establish a strategy of use.

**Key Words:** Anthraquinone, Technical evaluation, Kraft pulping, Yield, Kappa number, Quality, Economic Perspectives, Strategy of use.

### **1. Introdução**

A preocupação com a evolução dos processos de polpação tem sido constante. Alterações nos diversos tipos de equipamentos e nos conceitos envolvidos, inclusive na utilização dos insumos, têm buscado melhorar a eficiência e a seletividade do processo. O aumento de rendimento dos processos é um dos fatores relevantes a serem considerados. Trabalhos desenvolvidos por ALMEIDA

(1999), ALMEIDA e GOMIDE (1999), ALMEIDA et al. (2000), utilizando madeira de *Eucalyptus urograndis*, evidenciaram que, apesar das melhorias promovidas com os cozimentos kraft contínuos modificados, ainda é possível incrementar o rendimento e a seletividade da polpação com o uso de aditivos processuais.

Dentre as características importantes de aditivos para uso em processos alcalinos de polpação destacam-se: a) resistência ao meio fortemente alcalino, b) estabilidade em temperatura elevada, c) capacidade para interagir com os componentes da madeira, d) não apresentar efeitos deletérios ao ambiente, e) ausência de toxicidade (BLAIN, 1992), f) capacidade de atuar em baixas dosagens e g) custo competitivo. Considerando tais peculiaridades, a antraquinona merece destaque como aditivo.

A utilização de antraquinona (AQ), como aditivo em processos alcalinos de produção de celulose, data da segunda metade da década de setenta (HOLTON & CHAPMAN, 1977), quando se descobriu que sua presença, mesmo em baixas dosagens, propiciava, além de aumento de rendimento, incremento na taxa de deslignificação, resultando em menores teores de lignina residual na polpa marrom. Posteriormente, outros benefícios foram observados.

Inicialmente, a adoção desse aditivo se deu mais fortemente no Japão. Posteriormente, foi aceita nos demais grandes produtores mundiais de celulose. No Brasil, onde se podia observar o uso de AQ de forma limitada, em fábricas do sul a partir da década de 80 (as quais operavam e operam com coníferas), houve considerável expansão em sua utilização. Atualmente, a maior parte da produção de celulose no Brasil é conduzida com a aplicação de antraquinona em seu processo.

O presente trabalho apresenta, de forma concisa, os aspectos técnicos mais relevantes quanto à aplicação de antraquinona, considerando resultados publicados em literatura. Uma abordagem econômica é apresentada englobando informações de literatura e uma abordagem própria. Ressalta, ainda, a importância da estratégia de sua aplicação visando a maximização dos benefícios econômicos para seus usuários.

## 2. Aspectos técnicos

A antraquinona apresenta uma característica peculiar que, apesar de não ser uma enzima, lhe permite atuar em pequenas dosagens. O princípio de atuação estabelecido por LANDUCCI (1980), e comumente aceito, é por meio de um ciclo redox entre carboidratos e ligninas. Dessa forma, a antraquinona (AQ) atua no processo de polpação contribuindo na preservação dos carboidratos e, também, no fracionamento de ligninas. Com isso promove a oxidação do grupo terminal redutor dos carboidratos, de aldeído a carboxílico, restringindo as reações de despolimerização terminal (*peeling*), favorecendo o rendimento do processo, e o produto, antrahidroquinona (AHQ), promove redução de ligninas causando clivagem das ligações  $\beta$ -aril éter, acelerando sua dissolução no meio. Essa aceleração de deslignificação também contribui para o incremento de rendimento do processo.

Existem diversos outros aspectos técnicos, não necessariamente diretamente relacionados ao incremento na velocidade de deslignificação e, ou, à maior preservação dos carboidratos que serão abordados mais adiante. Aspectos estes como ganho de viscosidade, redução nas emissões de compostos reduzidos de enxofre (TRS), redução de carga dos efluentes, melhoria na refinabilidade da polpa, redução do número kappa na entrada do branqueamento e, conseqüentemente, redução no consumo específico de reagentes de branqueamento...etc.

Em um balanço, quando completou 15 anos de uso de antraquinona em polpação, BLAIN (1992) concluiu que o interesse no uso desse aditivo foi altamente significativo, inclusive, em um período de recessão mundial em que os preços de celulose estavam baixos. Previu incremento de sua utilização no controle de poluição seja em emissões aéreas ou poluição hídrica.

Desde o início da utilização industrial de antraquinona em produção de celulose, vários aspectos técnicos têm sido considerados e avaliados. A preocupação inicial esteve focada em incremento de rendimento da conversão de madeira em polpa. Diversos estudos, vários desenvolvidos no Brasil (DIAS, 1979; GOMIDE e OLIVEIRA, 1980; LIMA et al., 1993; ROBLES, 1996; SILVA JÚNIOR et al., 1997 e ALMEIDA, 1999, entre outros) com madeira de eucalipto, mostraram benefícios proporcionados pelo uso de antraquinona seja como aditivo único ou associado a outro componente em cozimentos kraft.

Posteriormente, houve um enfoque maior na redução do número kappa do cozimento visando redução no uso de agentes de branqueamento.

A eficiente ação deslignificante da antraquinona, tanto em processo kraft como soda, pode ser constatada por GOMIDE e OLIVEIRA (1980), trabalhando com madeira de *Eucalyptus urophylla*. Por outro lado, esses autores, também, detectaram aumentos nas resistências, principalmente com relação ao rasgo e ao arrebetamento, sendo mínimos os ganhos em relação à resistência à tração.

Por outro lado, trabalhando com *Eucalyptus grandis*, ROBLES (1996) observou aumento de rendimento depurado em todos os níveis de deslignificação estudados quando se utilizou 0,05% de AQ, base madeira seca, em polpação kraft-AQ em comparação aos resultados obtidos para o

cozimento kraft referência. Nos resultados apresentados pelo autor, também, pode ser observado que a polpa kraft-AQ, comparada à polpa kraft referência, consumiu menos energia para ser refinada, em todos os níveis de deslignificação testados, e apresentou propriedades de resistências iguais ou superiores, com exceção da polpa de número kappa 25 que se mostraram iguais ou inferiores. O autor concluiu que o uso de AQ e, ou, de polissulfetos conferem flexibilidade ao processo.

Para SILVA JÚNIOR et al. (1997) que testaram AQ e surfactante, em laboratório e em ensaio industrial, com madeira de eucalipto, os benefícios da utilização conjunta desses aditivos é superior ao uso individual. Nos ensaios industriais, conduzidos nas unidades da Votorantim Celulose e Papel, em Luis Antônio (SP), que trabalhava e trabalha com digestor contínuo, a dosagem otimizada foi de 0,025% de AQ simultaneamente a 0,025% de surfactante, base madeira seca. Os resultados médios mostraram que, com a utilização dos aditivos, houve redução na carga alcalina aplicada no digestor, redução no teor de sólidos do licor negro por tonelada de celulose (de 1,28 para 1,15 TSS/adt), redução no teor de rejeito (de 0,52 para 0,44%) e aumento da viscosidade da polpa na saída do digestor (de 36,5 para 46,9 cP), mantendo o mesmo nível de deslignificação (número kappa  $16 \pm 0,5$ ). Nesses resultados, também, pode ser verificado o aumento no teor médio de hemiceluloses da polpa branqueada (de 1,65% para 2,23%) o que refletiu na menor demanda de energia específica de refino da polpa branqueada (de 143,55 para 133,28 kWh/t). Por outro lado, os resultados médios observados na unidade de Jacareí (SP), que operava, na época dos testes, com digestores batch, mostraram redução na carga alcalina de 8,9% com a aplicação dos aditivos o que refletiu em aumento da capacidade de produção de 645,4 para 736,8 adt/dia. Os autores concluíram que houve aumento de rendimento da ordem de 1,5% com manutenção do nível de deslignificação, redução no teor de rejeitos e maior estabilidade de produção.

Estudo com o uso de antraquinona e surfactantes, separados e em conjunto, foi conduzido por DUGGIRALA (2000), utilizando madeira de conífera. Nos resultados apresentados pode-se verificar que o uso individual de 0,05% de AQ contribuiu para aumento de rendimento em 1,6 ponto percentual, mantendo o número kappa em 30, em relação à polpa Kraft convencional. O autor concluiu que houve, com o uso de AQ, redução de 12% no número kappa nas mesmas condições de polpação e, quando AQ e surfactante foram utilizados em combinação, a redução observada no número kappa foi de 17%. Um ganho expressivo de rendimento ocorreu com o uso combinado de AQ e surfactante. Esse ganho foi de 2,3% com o uso de 0,05% de AQ e de 0,05% de surfactante. Foi observado efeito sinérgico entre os dois aditivos que permitiu ganhos adicionais entre 0,5 e 0,8% de rendimento na faixa de número kappa entre 30 e 40. O autor conclui, ainda, que o uso de 0,025% de surfactante permite reduzir em 20% a dosagem típica de AQ de 0,05%. Esse uso combinado permite benefício adicional de diminuir o residual de AQ e, com isso, problemas de incrustações associados com antraquinona nos evaporadores.

Resultados de testes, em laboratório e industrial, realizados com eucalipto por CARNEIRO et al. (2003), na Bahia Sul Celulose, mostraram incremento de rendimento e de viscosidade com aumento da dosagem de AQ. O maior efeito proporcional da dosagem de AQ, segundo os autores, esteve entre 0,04% e 0,06% de AQ, base madeira seca. Esses autores avaliaram, também, o uso de AQ, aplicada nas formas de pó e dispersa, tanto em laboratório como em teste industrial e verificaram melhor desempenho com o produto disperso. Nesse estudo, os resultados médios mostraram que, com a utilização da dosagem otimizada de 0,06% de AQ dispersa, houve, em relação ao cozimento Kraft referência, aumento na carga alcalina aplicada no digestor (de 18,8 para 19,7%), redução no teor de sólidos do licor negro por tonelada de celulose (de 1,70 para 1,55 TSS/adt), aumento do rendimento em polpa marrom (de 53,6 para 56,1%) com redução no número kappa (de 15,6 para 14,2) e aumento no rendimento em polpa branqueada (de 50 para 52,2%). A seletividade foi sensivelmente melhorada. Foram detectados, no ensaio industrial, teores de pentosanas, nas polpas produzidas com AQ, superiores à polpa referência, tanto em polpa convencional como ECF. O teor de pentosanas aumentou com o aumento da carga de aditivo aplicada. Com dosagens de 0,06% e de 0,1% de AQ, base madeira seca, foram observados aumentos de rendimento superiores a 4%. Os autores concluíram que o uso de antraquinona permitiu: a) ganhos de produção, sendo maiores com a utilização de AQ dispersa; b) redução na geração de sólidos, a serem queimados na caldeira de recuperação, por tonelada de celulose produzida e c) melhoria na seletividade do cozimento refletindo em maior viscosidade para mesmos níveis de deslignificação. Concluíram, ainda, que não houve redução na carga de álcali aplicada nos cozimentos e não observaram diferenças significativas nas propriedades físico-mecânicas das polpas produzidas com e sem antraquinona.

O desempenho da antraquinona em cozimento kraft também tem sido amplamente verificado com madeiras de coníferas. Nas mesmas condições do cozimento kraft tradicional, o uso de 0,1% de AQ, base madeira seca, resultou em redução do número kappa de 29 para 24 na polpa marrom produzida a partir de cavacos de *Pinus taeda*, sem comprometer o rendimento (JAMEL et al., 1994).

Experiência industrial da International Paper Co., com madeira de conífera, relatada por SHAW e RENARD (1980), mostrou que foi necessária redução na carga de álcali em 1,5%, base madeira seca, para retornar ao mesmo nível de número kappa praticado anteriormente ao uso de

antraquinona (0,1%, base madeira seca) ; ao mesmo tempo, em que o consumo de vapor no digestor foi reduzido. As propriedades não foram afetadas. Quanto ao ganho de rendimento, os autores afirmaram que, em função do curto período de teste (5 dias), não foi possível quantificar com segurança. Como haviam realizado ensaio laboratorial prévio, os autores verificaram a boa correlação entre testes em escala de laboratório e industrial e concluíram que os resultados desses ensaios poderiam ser extrapolados para a fábrica em questão, assegurando ganho de rendimento.

Utilizando madeiras de três espécies de coníferas e uma mistura de espécies de folhosas, MACLEOD et al. (1980) avaliaram o efeito do uso de 0,1% de AQ, base madeira seca, sobre as propriedades das polpas kraft e soda. Concluíram que pequenas dosagens de AQ aceleravam a deslignificação dos cozimentos soda e kraft de ambos os tipos de madeiras. As propriedades de resistência das polpas soda-AQ e kraft-AQ, em geral, foram equivalentes à da polpa kraft sendo que a polpação kraft-AQ, comparada à polpação kraft, apresentou maior velocidade de deslignificação e maior rendimento.

Por outro lado, buscando avaliar efeitos da AQ no rendimento e na qualidade de polpa para produção de *linerboard* em escala industrial, foi realizado um estudo por GOEL et al. (1980) para adoção desse aditivo. Os resultados confirmaram que a adição de 0,05% de AQ, base madeira seca, em cozimento Kraft, reduziu a carga alcalina de 14,2% para 12,6% e aumentou o rendimento de 56,1% para 57,8%, sem afetar o número kappa e as qualidades da polpa e do produto final.

A utilização de AQ associada a polissulfetos visando incremento de rendimento tem sido também buscada. THOMPSON et al. (1998) avaliaram, em madeira de conífera, o uso de antraquinona e de polissulfetos separados e em associação. Os autores concluíram que a aplicação de 0,07% de AQ, base madeira seca, resultou na redução do número kappa em 13% com o mesmo rendimento do cozimento kraft convencional. Quando foi utilizado 0,07% de AQ associado a 1,3% de polissulfetos, ambos base madeira seca, a redução de número kappa foi de 19% e houve aumento de 1,5% no rendimento.

Resultados apresentados por RAJAN et al. (1992), para madeira de *Pinus*, evidenciaram diferentes efeitos do uso de AQ no sentido de reduzir o número kappa de saída do digestor. Esses autores mostraram que o uso de antraquinona permitiu maior preservação da viscosidade ou manutenção dos mesmos níveis de viscosidade mas em números kappa inferiores. Os resultados também mostraram maior branqueabilidade na seqüência (C/D)(Eop)D(Eop)D da polpa kraft-AQ comparada a polpa kraft-O com mesmo número kappa. Foram atingidos maiores patamares de alvura e de rendimentos, em polpas branqueadas, superiores em 1,7%. Também foi gerado menos AOX com a polpa kraft-AQ. Quanto às propriedades de resistência, não houve impacto.

Em 1992, GOYAL et al. desenvolveram um trabalho em que objetivaram avaliar o efeito da extensão de cozimento sobre as propriedades de resistências da polpa em condições convencionais. Esses autores, utilizando uma mistura de cavacos de coníferas, mostraram que, nestas condições, um aumento do fator H em 27% resultou em redução de apenas 15% no número kappa e perda de 2% no rendimento. Com aumento da carga de álcali efetivo de 16% para 18%, no mesmo fator H, o número kappa pode ser reduzido em 24% com maior comprometimento do rendimento. Por outro lado, o uso de 0,1% AQ, nas condições convencionais, permitiu reduzir o número kappa em 24% e, simultaneamente, incrementar o rendimento em 2%. Não detectaram nenhum efeito nas propriedades de resistência testadas. Concluíram que a polpa kraft-AQ respondeu bem ao branqueamento pela seqüência (C/D) (EO)D(EP)D em conseqüência da redução do número kappa o que proporcionou redução em 26% no cloro ativo do estágio C e redução em 20% no dióxido de cloro do estágio D1 para atingir a mesma alvura final. Concluíram, ainda, que a adição de AQ em polpação kraft convencional é uma opção viável para estender a deslignificação sem sacrifício em resistências da polpa e com aumento de rendimento.

MCDONOUGH e VAN DRUNEN (1982) avaliaram as tecnologias deslignificação com oxigênio, utilização de AQ e uso conjunto (AQ e deslignificação com oxigênio), na redução do número kappa na entrada do branqueamento, visando efeitos de reduções de poluentes e de custo de reagentes químicos de branqueamento. Os autores concluíram que os cavacos de *Pinus* poderiam ser polpeados a número kappa 15, sem aumento do tempo de cozimento, pelo uso de AQ e aumento na carga alcalina. Posteriormente, esta polpa foi branqueada pela seqüência (C/D)ED para obtenção de uma polpa correspondente em alvura e resistências à polpa convencional produzida em número kappa 35 e branqueada pela seqüência O(C/D)ED. Os mesmos autores também concluíram que podiam ser alcançadas reduções substanciais de DBO e de cor nos efluentes da planta de branqueamento. Reduções de até 85% na DBO e na cor são tecnicamente possíveis, em função do uso combinado da polpação com baixa lignina residual, utilizando AQ, e deslignificação com oxigênio.

VAN ALLEN et al. (1981) analisaram o efeito da sulfidez em polpação alcalina (kraft e soda) de *Pinus* com o uso de antraquinona. Concluíram que o rendimento total aumentou com a sulfidez em cozimento kraft. Contudo, com carga fixa de AQ em cozimento kraft-AQ, alterações de sulfidez, na

faixa de 15 a 29%, não afetaram o rendimento. Reduções substanciais no consumo de álcali efetivo, para mesmo nível de deslignificação, ocorreram com aumento da sulfidez e da carga de AQ.

KUTNEY (1984) avaliou a interrelação entre diferentes níveis de sulfidez e dosagens de AQ para 3 espécies de coníferas e uma mistura de cavacos de folhosas. Nesse estudo, se pode verificar que o efeito da reposição da sulfidez por antraquinona varia de acordo com a espécie sendo mais pronunciado em folhosas. O autor concluiu que a sulfidez e a carga de AQ são independentes com respeito à deslignificação.

KENT e HATTON (1983) analisaram a aplicação de antraquinona em cozimento kraft de conífera e em uma mistura de conífera e folhosa, na proporção 70/30. Concluíram que, em baixos níveis de sulfidez (5 a 15%), o processo kraft-AQ permite que se produza polpa, seja de conífera, ou da mistura conífera/folhosa, com rendimento superior, mantendo os mesmos fator H, número kappa e consumo de álcali que cozimento kraft com sulfidez de 25%.

BLAIN (1980) estudou o efeito da sulfidez na branqueabilidade e propriedades de resistências de polpas alcalinas de conífera produzidas com antraquinona. Esse autor concluiu que a produção de polpa kraft-AQ, comparada à produção de polpa Kraft convencional, oferece possibilidade de considerável redução na emissão de compostos reduzidos de enxofre por permitir que se trabalhe a baixa sulfidez (até 5%) durante o cozimento produzindo polpa com maior branqueabilidade e características de resistências semelhantes à kraft convencional.

LIMA et al. (1993) relataram a experiência industrial da RIOCELL no uso de antraquinona, em processo kraft contínuo de madeira de eucalipto, para abatimento de emissões aéreas. Nesse relato, os autores mostraram que foi possível reduzir as emissões de TRS em até 50% em razão da redução de sulfidez de 16-18% para 8%. Isto foi possível com o uso de 0,05% de antraquinona, base madeira seca, no cozimento. Não houve comprometimento da qualidade do produto seja polpa solúvel ou polpa para papel. Os autores observaram que não foi detectado aumento no teor de rejeitos ou queda de rendimento para mesmo nível de deslignificação. Verificaram, ainda, que a branqueabilidade da polpa e as propriedades físico-mecânicas e óticas da polpa branqueada foram mantidas, com pequena redução na demanda de energia para mesmo nível de refino. Com a redução de sulfidez, afirmaram os autores, foi possível reduzir, consideravelmente (cerca de 50%), o consumo de oxigênio para oxidação de licor.

Trabalho desenvolvido por ZHU et al. (2000), com quatro espécies de coníferas e seis de folhosas, mostrou que a utilização de antraquinona reduziu, de forma significativa, a formação de metanol em polpação alcalina. Esse efeito foi mais notório com o aumento da dosagem de AQ. Os mesmos autores ressaltaram a correlação direta, mostrada por seus resultados, entre a formação de metanol e de ácidos hexenurônicos. Esse trabalho é uma forte indicação de que a polpa kraft-AQ tende a apresentar maior estabilidade de alvura em relação à polpa kraft.

Por outro lado, SILVA et al. (2001a, 2001b), trabalhando com madeira de *Eucalyptus* em polpação kraft, verificaram o efeito da redução de sulfidez com a correspondente compensação com antraquinona. Foram avaliados diferentes níveis de sulfidez combinadas a diferentes dosagens de AQ, com mesma carga de álcali aplicada, para que se alcançasse o mesmo nível de deslignificação. Os autores concluíram que a redução de sulfidez pode ser compensada pela adição de antraquinona. Com isto, houve redução na formação de metilmercaptana e de metanol, conseqüentemente, também foram reduzidas a DBO e a DQO do condensado contaminado. O uso de AQ promoveu aumento de rendimento em polpa em até 1%, em razão da maior retenção de xilanas, entretanto, nesse caso, não houve efeito na formação de ácidos hexenurônicos. Concluíram, ainda, que a redução de sulfidez compensada pela adição de AQ, nas condições utilizadas, reduziu a branqueabilidade da polpa pela seqüência (OO)DEoD(PO). As propriedades físico-mecânicas da polpa não foram afetadas, à exceção do volume específico aparente que aumentou.

Outro aspecto relevante referente ao efeito do uso de AQ na demanda de energia no refino da polpa também mereceu estudo. O fato de a antraquinona promover maior preservação de carboidratos na polpa inclui, especialmente no caso de folhosas, maior preservação de xilanas, contribui no favorecimento do refino. DIAS (1979) avaliou alguns tratamentos no sentido de reduzir a demanda de energia de refino de polpas de *Eucalyptus grandis*. O autor concluiu que polpas produzidas pelos processos kraft com polissulfetos e kraft com antraquinona permitem redução no consumo de energia de refino da ordem de 30% e 40%, respectivamente, em relação ao processo kraft tradicional sem efeitos adversos nas propriedades físicas do papel. Esse fato foi confirmado posteriores por diversos outros trabalhos com distintas espécies de eucalipto (LIMA et al., 1993; ROBLES, 1996; SILVA JÚNIOR et al., 1997; SILVA et al., 2001a e 2001b).

Aspectos relacionados ao uso de AQ com relação a subprodutos de polpação de coníferas também foram considerados. Estudo conduzido por DIMMEL et al. (1982) mostrou que resinas de madeira têm pouca influência na ação da AQ durante a polpação, bem como, a AQ não afeta, significativamente, o rendimento e a composição do *tall oil* cru.

Com o uso de AQ, em geral, há menor demanda de álcali no processo de cozimento para mesmos níveis de número kappa. Ganhos operacionais, como incremento do número diário de

cozimentos em digestores descontínuos ou aumento de produção/dia em digestores contínuos, podem ser observados.

As análises comparativas dos diversos estudos mostram o enorme potencial técnico de uso de antraquinona. As condições empregadas em cada estudo devem ser bem avaliadas no sentido de se buscar melhor direcionamento no uso adequado da AQ para unidades e condições específicas.

Por esses estudos pode ser verificado que a generalização de resultados deve ser conduzida com critério.

### 3. Perspectivas econômicas

VIRKOLA (1981) apresentou análises de alguns casos sobre viabilidade financeira do uso de antraquinona em fábricas Escandinavas e mostrou que seu uso depende das condições específicas de cada unidade. KATZ et al. (1995) apresentaram uma metodologia de análise para se prever o valor associado ao processo de polpação com o uso de antraquinona e de antraquinona e polissulfetos, simultaneamente. Nessa metodologia foram considerados os aspectos tradicionais de limitações de produção seja digestor, caldeira de recuperação tanto para polpa branqueada como não branqueada. Os autores concluíram que AQ apresenta elevado valor, principalmente, no caso específico de limitação em caldeira de recuperação.

MORAIS et al. (2000), considerando custo de madeira de US\$ 46,21/t, custo de licores de US\$ 9,29/t, custo de utilidades de US\$ 2,93/t e de antraquinona de US\$ 4,75/Kg, mostraram resultados de teste industrial com madeira de *Eucalyptus spp* no Brasil em que houve redução no custo fixo de US\$1,74/adt. Essa redução no custo ocorreu em função da redução nos consumos específicos de madeira, licor e utilidades que compensaram o custo adicional do uso de antraquinona.

O incremento de rendimento está relacionado à maior produção de celulose por massa de madeira empregada no processo e pode também estar relacionado ao incremento de produção/dia seja pelos aumentos do rendimento específico, do número de cozimentos/dia ou do ritmo de produção em digestores contínuos. Neste caso, o balanço financeiro não é direto pois deve considerar também o ganho de produtividade que deve ocorrer e os efeitos em outros setores da planta.

Há que se considerar que a redução no custo específico da celulose pode ser difícil de ser quantificada, pois, pode ser necessário alterar cálculos, inclusive de depreciação. Redução no custo marginal da celulose pode ser mais evidente.

Do ponto de vista financeiro, a utilização de antraquinona passa a ser um balanço direto de receitas e despesas, ambas diretas e indiretas, decorrentes de seu uso. Considerando os preços atualmente praticados, geralmente, neste aspecto financeiro, o resultado é favorável.

O uso de antraquinona não deve ser analisado unicamente por fábricas com limitações de produção. As possibilidades de uso são muito mais abrangentes.

LIMA et al. (1993) mostraram que, apesar de o uso de antraquinona, naquela época, ter representado um custo financeiro adicional, conforme análise daqueles autores, a opção pelo uso se mostrou interessante e foi recomendada.

A questão ambiental envolvendo odor, cujos aspectos econômicos são difíceis de serem quantificados, pode, muitas das vezes, ser determinante na manutenção da operação da unidade. Assim sendo, a utilização de antraquinona para abatimento de poluição (redução de TRS) pode ser fundamental.

Considerando os dois efeitos básicos da antraquinona (estabilização de carboidratos e aceleração da deslignificação), há várias alternativas de uso que configuram as diferentes estratégias possíveis de se auferir benefícios nas distintas plantas. Em sua análise, dependendo do ou dos interesses em questão, deve-se abranger, toda a unidade fabril.

Por outro lado, as perspectivas econômicas são bem mais abrangentes e envolvem outros aspectos que não somente os financeiros e extrapolam as fronteiras da fábrica. Neste caso, a estratégia de uso passa a ser o fator mais relevante pois procura conjugar as diversas possibilidades técnicas da utilização da antraquinona buscando objetivos com uma perspectiva mercadológica bem mais ampla. Neste aspecto estratégico é que são ampliados os benefícios da antraquinona.

Para empresas voltadas à exportação de celulose ou verticalizadas, o uso de antraquinona no sentido de melhorar as características de refinabilidade da polpa, por exemplo, pode ser um forte aliado à manutenção e, ou, à expansão de mercado para seu produto, especialmente na Europa.

Pode-se buscar nichos específicos de mercado, ressaltando características da polpa, com auxílio da antraquinona, como por exemplo, o potencial de produção de polpas com maior volume específico aparente, proporcionado pelo seu uso, para produtos absorventes ou papeis que demandam elevado *bulk* e, assim, cada vez mais, se aproximar de produtos *tailor made*.

## 4. Conclusões

A antraquinona, seja em produção de celulose de coníferas ou de folhosas, é um produto versátil capaz de aumentar a flexibilidade operacional das fábricas.

Sua utilização pode permitir:

- Economia de madeira para mesmo nível de produção;
- Incremento de rendimento em polpa para mesmo nível de número kappa na saída do digestor;
- Redução no teor de rejeitos de polpação;
- Manutenção do rendimento em polpa ao mesmo tempo em que promove redução do número kappa na saída do digestor;
- Menor geração de sólidos no licor negro;
- Redução na sulfidez e, conseqüentemente, menor geração de TRS, mantendo o rendimento e o número kappa na saída do digestor;
- Economia de reagentes de branqueamento e, conseqüentemente, melhoria na qualidade do efluente líquido;
- Desgargamentos de digestor, de caldeira de recuperação, de caustificação e, ou, forno de cal;
- Melhoria na qualidade da polpa, principalmente no que se refere à retenção de hemiceluloses;
- Aumento de produção e de produtividade.

Embora existam muitos benefícios potenciais, praticamente sem investimentos de capital, há possibilidade de alguma perda em branqueabilidade, em propriedade de resistência ao rasgo e, ou, menor geração de energia a partir do licor negro.

Os vários benefícios relativos ao uso de antraquinona, amplamente divulgados na literatura especializada, não são todos obtidos simultaneamente.

Para se alcançar o maior potencial de benefícios disponíveis com o uso de antraquinona depende efetivamente de uma análise técnica criteriosa de formas a se estabelecer uma estratégia de uso. Essa estratégia é específica para cada unidade produtora.

## 5. Referências

- ALMEIDA, J. M. **Estudos de maximização de rendimento e monitoramento da degradação dos constituintes da madeira de *Eucalyptus* em processo kraft contínuo**, UFV, Viçosa , 1999. (Tese de *Doctor Science* ).
- ALMEIDA, J.M.; GOMIDE, J.L. Estudo de maximização de rendimento em processo kraft contínuo modificado utilizando madeira de *Eucalyptus*. In: **2º SEMINÁRIO DE DESLIGNIFICAÇÃO**, São Paulo: ABTCP, 1999. **Anais...**São Paulo, agosto, 1999.
- ALMEIDA, J. M., GOMIDE, J. L., COLODETTE, J. L., SILVA, D. J. Estudo de alternativas técnicas para aumento de rendimento da polpação kraft contínua de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**: 24 (4): , 2000.
- BLAIN, T.J. Anthraquinone pulping: fifteen years after. In: 1992 Pulping Conference. **Proceedings...** TAPPI Press, Atlanta, 1992. p. 1005.
- BLAIN, T.J. The influence of sulfidity on the bleachability and strength properties of alkaline-anthraquinone softwood pulps. **Tappi Journal**: 63 (5)1980.
- CARNEIRO, C.J.G.; SALVADOR, E.; SILVA, F.A.; CALDAS, P.J. Aumento de rendimento através do uso de antraquinona: os resultados da Bahia Sul Celulose. In: SEMINÁRIO SOBRE PRODUÇÃO DE CELULOSE – NOVAS PRÁTICAS E TECNOLOGIA, São Paulo: ABTCP, 2003. **Anais...**São Paulo, março, 2003.
- DIAS, R.L.V. Antraquinona, polissulfeto, oxigênio e hipoclorito – Fatores para a redução da energia de refino das polpas de eucalipto. In: 12º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, São Paulo: ABTCP, 1979. **Anais...**São Paulo, 1979. p.133.

- DIMMEL, D.R., THIREAULT, D.D. CURTI, P.D., SEEFELDT, R.G. The interaction of anthraquinone with tall oil components. **Tappi Journal**: 65 (6)1982.
- DUGGIRALA, P.Y. Anthraquinone and surfactant pulping technology for kraft softwood In: 2000 Pulping/ Process & Product Quality Conference. **Proceedings...** TAPPI Press, Atlanta, 2000.
- GOEL, K., AYROUD, A.M., BRANCH, B. Anthraquinone in kraft pulping. **Tappi Journal**: 63 (8)1980.
- GOMIDE, J.L., OLIVEIRA, R.C. Eficiência da antraquinona na polpação alcalina do eucalipto. **O Papel**: 41 (1): 67-72. 1980.
- GOYAL, G.C., POWERS, J., CRONLUND, M. Anthraquinone – A simple approach for extended delignification in conventional kraft pulping. In: 1992 Pulping Conference. **Proceedings...** TAPPI Press, Atlanta, 1992. p. 1047.
- HOLTON, H.H., CHAPMAN, F.L. Kraft pulping with anthraquinone: Laboratory and full-scale mill trials. **Tappi Journal**: 60 (11) 1977.
- JAMEL, H., GRATZEL, J., PRASAD, D.Y., CHIVUKULA, S. Extending delignification with AQ/polysulphide. In: 1994 Pulping Conference, San Diego, 06-10 Nov. **Proceedings...** TAPPI Press, Atlanta, 1994. Book 2. p. 781-798.
- KATZ, G., DURKEE, J.A.A., DEAL, H., SMITH, W.R. Forecasted value analysis for AQ and AQ/polysulfide pulping. In: 1995 Pulping Conference. **Proceedings...** TAPPI Press, Atlanta, 1995. p. 41.
- KENT, W.R., HATTON, J.V. Low-sulfidity kraft-anthraquinone pulping of hardwood/softwood mixtures In: 1983 Pulping Conference. **Proceedings...** TAPPI Press, Atlanta, 1983. p. 69.
- KUTNEY, G.W. Defining AQ pulping activity: Part 1 - AQ vs Sulfidity In: 1984 Pulping Conference. **Proceedings...** TAPPI Press, Atlanta, 1984. p. 65.
- LANDUCCI, L.L. Quinones in alkaline pulping. **Tappi Journal**: 63 (7):95 1980.
- LIMA, A.F., TURQUETTI, A., BARRETO, F., VENTURA, J.W., SILVEIRA, P.R.P. Antraquinona para redução das emissões de TRS: A experiência da RIOCELL. In: 26º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, São Paulo: ABTCP, 1993. **Anais...** São Paulo, nov, 1993. p. 777.
- MCDONOUGH, T.J., VAN DRUNEN, V.J. Low-lignin pulping to replace or enhance oxygen bleaching. In: 1982 International Pulp Bleaching Conference. **Proceedings...** TAPPI Press, Atlanta, 1982. p. 59.
- MACLEOD, J.M., FLEMING, B.I., KUBES, G.J., BOLKER, H.I. The strengths of kraft-AQ and soda-AQ pulps **Tappi Journal**: 63 (1) 1980.
- MORAIS, D; RESENDE, A; GOMES, F. Antraquinona como auxiliar na polpação Kraft – Desmistificando conceitos e técnicas de aplicação. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSOS DE COZIMENTO DA MADEIRA, São Paulo: ABTCP, 2000. **Anais...** São Paulo, setembro, 2000.
- RAJAN, P.S., GRIFFIN, C.W., JAMEEL, H., GRATZEL, J. S. Extending the digester delignification with anthraquinone. In: 1992 Pulping Conference. **Proceedings...** TAPPI Press, Atlanta, 1992. p. 985.
- ROBLES, Y.A. M. **Utilização de antraquinona e polissulfetos como aditivos do processo Kraft para produção de celulose de *Eucalyptus***, UFV, Viçosa , 1996. ( Tese de *Magister Science* ) .
- SHAW, J.S., RENARD, J.J. Evaluation of kraft-AQ pulping at Gardiner Mill (of International Paper Co.) delignification in conventional kraft pulping. In: 1980 Pulping Conference. **Proceedings...** TAPPI Press, Atlanta, 1980. p. 472.
- SILVA, F.J., GOMIDE, J.L., COLODETTE, J.L. Effects of sulfidity and anthraquinone on methylmercaptan emission, methanol production, chemical characteristics and bleachability of *Eucalyptus* kraft pulp. In: 7<sup>th</sup> Brazilian Symposium on the Chemistry of Lignins and Other Wood Components - Poster Presentations. **Proceedings...** UFV, Viçosa, 2001a. p. 123.



- SILVA, F.J., GOMIDE, J.L., COLODETTE, J.L., OLIVEIRA FILHO, A.C. Efeito da redução de sulfidez, com adição de AQ, nas emissões poluentes e na qualidade da polpa Kraft de eucalipto. In: 34º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, São Paulo: ABTCP, 2001. **Anais...** São Paulo, 2001b.
- SILVA JÚNIOR, F.G., RESENDE, A., TONELLI, E., SANTOS, J.T., ZÓLIO, A. Experiências industriais da Votorantim Celulose e Papel na polpação Kraft com uso de antraquinona e surfactante. In: 30º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, São Paulo: ABTCP, 1997. **Anais...** São Paulo, nov, 1997. p. 191.
- VAN ALLEN, N.J. HATTON, J.V., GEE, W.Y. Effect of sulfidity in alkaline pulping of white spruce with anthraquinone. **Tappi Journal**: 64 (6)1981.
- VIRKOLA, N-E. Would anthraquinone be economical in your mill? **Tappi Journal**: 64 (6) 1981.
- THOMPSON, B.,GOYAL, G., STURGEOFF, L., HANNA, R. Boosting pulp yield of western softwood with anthraquinone/polysulfide kraft pulping. In: 1998 Breaking the Pulp Yield Barrier Symposium. **Proceedings...** TAPPI Press, Atlanta, 1998. p. 133.
- ZHU, J. Y., YOON, S. -H., LIU, P. -H., CHAI, X. -S. Methanol formation during alkaline wood pulping. **Tappi Journal**: 83 (7) 2000.