

# ADITIVOS PARA POLPAÇÃO ALCALINA: EXPERIÊNCIA INDUSTRIAL NA PRODUÇÃO DE POLPA NÃO-BRANQUEADA DE PINUS

Francides Gomes da Silva Júnior – Universidade de São Paulo – Brasil – [fgomes@esalq.usp.br](mailto:fgomes@esalq.usp.br) - Av. Pádua Dias, 11 Piracicaba SP Brasil 13418-900

Oswaldo Vieira – Klabin S.A./Faculdade Telêmaco Borba – Klabin Papéis – Fazenda Monte Alegre – Telêmaco Borba PR Brasil 84275-000

Reginaldo Urga – Siderquímica – BR 376 km 22,5 – São José dos Pinhais PR Brasil 83015-000

Sidney Zattoni – Klabin S.A.– Fazenda Monte Alegre – Telêmaco Borba PR Brasil 84275-000

**RESUMO:** A utilização de compostos químicos que contribuam para as reações de polpação é uma alternativa técnica que tem sido utilizada por várias empresas produtoras de polpa celulósica no mundo e entre estes compostos a antraquinona é a que mais se destaca. A associação do efeito químico de compostos que atuam sobre a cinética de polpação bem como de compostos que contribuam para a impregnação representa uma alternativa técnica bastante interessante para indústria de celulose e papel. No entanto, para a maximização destes efeitos devem-se considerar também as características da madeira e as particularidades do processo industrial. Com base nos conceitos mencionados, o Laboratório de Química, Celulose e Energia da Universidade de São Paulo vem desenvolvendo diversos aditivos de polpação com diferentes formulações; cozimentos laboratoriais com aditivos de polpação com cavacos industriais de pinus com características tecnológicas definidas mostraram a possibilidade de redução do fator H, aumento de rendimento e das propriedades físico-mecânicas da polpa não-branqueada ( $\kappa$  80). Com base nesses resultados, executou-se um teste industrial (60 dias) com o referido aditivo de polpação (desenvolvido especificamente para a madeira e o processo industrial da unidade teste) com o objetivo de reduzir o teor de rejeitos. Os resultados obtidos industrialmente mostraram claramente que com o uso do referido aditivo de polpação foi possível a redução do teor de rejeitos e ainda a redução do fator H em 45% o que representou uma economia de vapor; a redução do fator H contribuiu significativamente para uma maior preservação da polpa, que se expressou através do aumento das propriedades de resistência, que por sua vez implicou em um melhor desempenho das máquinas de papel que utilizaram esta polpa como matéria-prima. Com base nestes resultados o aditivo de polpação foi aprovado industrialmente estando em uso contínuo na referida unidade industrial.

**Palavras-chave:** polpação kraft, aditivos, pinus, antraquinona, surfactante, *pinus taeda*, *pinus elliotti*

## INTRODUÇÃO

O setor de celulose e papel, em termos econômico-financeiros, se caracteriza por ser de capital intensivo onde são necessários grandes investimentos para instalação e operação de unidades industriais, bem como para alterações de processo. Considerando-se que a madeira é a principal fonte de matéria-prima para produção de polpa celulósica, torna-se necessário também, o investimento em grandes plantios florestais como forma de garantir o abastecimento das unidades industriais.

O aumento da capacidade de produção de madeira é um processo de longo prazo. No Brasil, atualmente, se observa redução da disponibilidade de madeira de reflorestamentos, especialmente de coníferas, e isto tem sido um fator restritivo ao aumento imediato da capacidade de produção de polpa celulósica; este fato provoca uma pressão sobre os preços da madeira que por sua vez se refletem nos custos de produção de celulose.

Com base nos aspectos mencionados anteriormente é primordial a maximização da eficiência e capacidade de produção das unidades industriais como forma de aumentar a taxa de retorno sobre o investimento. Os aspectos industriais relacionados à eficiência e maximização de capacidade de produção têm reflexos diretos sobre o consumo de madeira, área de plantios florestais e custo de produção. A possibilidade de utilização de aditivos químicos que aumentem a eficiência dos processos de polpação é uma alternativa tecnológica interessante, pois pode permitir o aumento imediato na capacidade de produção de unidades industriais (em média

de 3 a 12%) e redução de custos de produção sem a necessidade de investimentos, uma vez que, por definição, aditivos de polpação são produtos que são aplicados em sistemas de polpação existentes.

O processo kraft de polpação é um mosaico de fenômenos físicos e químicos que tem por objetivo a dissolução da lamela média e a conseqüente individualização das fibras. Em escala industrial estes fenômenos representam uma série de operações unitárias; da eficiência de cada uma das operações unitárias depende a eficiência global dos processos alcalinos de polpação. Os desenvolvimentos realizados para os processos alcalinos de polpação estão focados no aumento de eficiência de algumas operações unitárias.

O desenvolvimento de aditivos de polpação requer o conhecimento detalhado das reações químicas envolvidas durante o processo de produção de polpa celulósica. As reações de polpação do processo kraft são topoquímicas e dependem de uma boa uniformidade na transferência de calor e reagentes para o interior dos cavacos; este fato mostra que um bom desempenho da etapa de impregnação dos cavacos é determinante para a uniformidade das reações de deslignificação, contribuindo assim para a melhoria da qualidade da polpa produzida e para o aumento do rendimento do processo industrial. Compostos químicos que alterem a tensão superficial do licor de cozimento e conseqüentemente o ângulo de contato entre este e o cavaco, podem proporcionar benefícios para o processo de impregnação contribuindo desta forma para uma maior uniformidade da impregnação dos cavacos com o licor de cozimento e conseqüentemente uma melhor eficiência do processo de polpação.

A utilização de compostos químicos que contribuam para intensificar as reações de polpação é uma alternativa técnica que tem sido utilizada por várias empresas produtoras de polpa celulósica no mundo e entre estes compostos a antraquinona é a que mais se destaca. O mecanismo de ação da antraquinona já é bastante conhecido, ou seja, ela atua num ciclo de redox fragmentando a lignina e estabilizando os carboidratos. Industrialmente estes efeitos são aproveitados no aumento da capacidade de produção, na redução do consumo de madeira, na redução do kappa e redução de reagentes químicos de branqueamento, na redução de sulfidez e a conseqüente redução da emissão de TRS.

A associação do efeito químico de compostos que atuam sobre a cinética de polpação bem como de compostos que contribuam para a etapa de impregnação representa uma alternativa técnica bastante interessante para indústria de celulose e papel. No entanto, para a maximização destes efeitos devem-se considerar também as características da madeira e as particularidades de cada unidade industrial.

As diferenças entre as características das madeiras utilizadas para produção de polpa celulósica associadas às diferenças nas instalações industriais, diversidades de compostos surfactantes e objetivos para utilização de aditivos de polpação são fortes indicativos de que um aditivo de polpação com formulação única, dificilmente atenderá todos os processos industriais de forma conveniente; exemplificando, é muito pouco provável que um aditivo usado para produção de polpa branqueável de eucalipto (# kappa 18) apresente a mesma eficiência quando utilizado para produção de polpa não-branqueável de pinus (# kappa 80). Com base nesta premissa, o Laboratório de Química, Celulose e Energia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ da Universidade de São Paulo - USP, vem desenvolvendo uma família de aditivos de polpação sob o conceito *tailor made*, pois considera as diferenças entre as características da matéria-prima, dos processos de polpação e dos diferentes objetivos para o uso de aditivos.

Os trabalhos de desenvolvimento de aditivos apresentam uma etapa laboratorial, onde se consideram as principais características da madeira e do processo industrial, sendo realizados uma série de cozimentos laboratoriais com possíveis formulações e dosagens; concluída a etapa laboratorial, realiza-se um teste industrial para confirmação de resultados e ajustes em formulações, caso necessário.

No presente trabalho é apresentada a experiência industrial com aditivo de cozimento desenvolvido especificamente para as condições da Klabin Papéis Telêmaco Borba; o referido aditivo foi desenvolvido com o objetivo de reduzir o teor de rejeitos do processo de polpação.

## ENSAIOS LABORATORIAIS

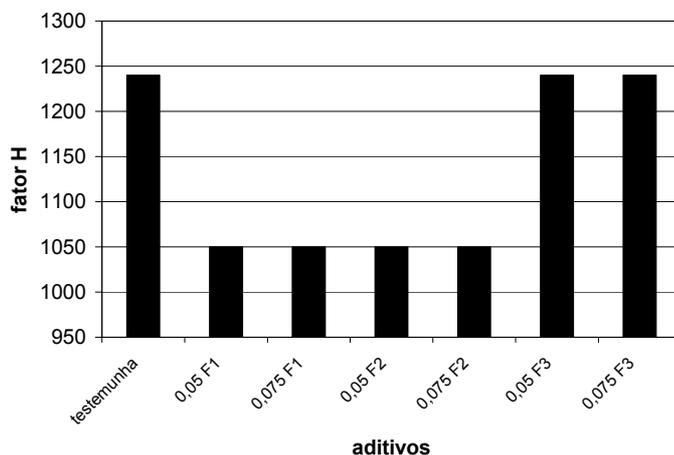
Com o objetivo de se definir qual a melhor formulação de aditivo de cozimento para teste industrial, realizou-se no Laboratório de Controle de Qualidade e Pesquisa da Klabin Papéis Monte Alegre cozimentos com diversos aditivos. Para realização destes cozimentos utilizou-se um mix de cavacos de *Pinus taeda* (68%) e *Pinus elliotti* (32%). Os cozimentos foram realizados em autoclave com circulação de licor sob as seguintes condições:

- álcali ativo: variável
- sulfidez: 34%
- relação licor/madeira: 4/1
- temperatura máxima: 169°C
- fator H: 1100
- tempo à temperatura máxima: 74 min

A carga alcalina e o tempo de cozimento foram alterados visando a obtenção de polpas com número kappa de  $79 \pm 2,5$ .

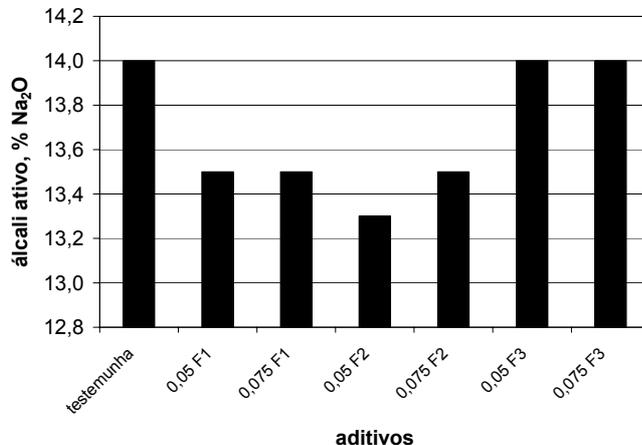
Com relação aos aditivos as dosagens consideradas foram de 0,05% e 0,075% base peso absolutamente seco de cavacos; para efeito de comparação foi realizado um cozimento sem aplicação de qualquer tipo de aditivo (testemunha).

Na figura 1 são apresentados os resultados obtidos para o fator H em função das formulações e dosagens avaliadas.



**Figura 1.** Fator H

Os resultados apresentados na figura 1 mostram que as formulações F1 e F2, nas dosagens de 0,05% e 0,075%, permitiram uma redução no fator H da ordem de 15% com relação a testemunha; para a formulação F3 não foi observada redução do fator H.

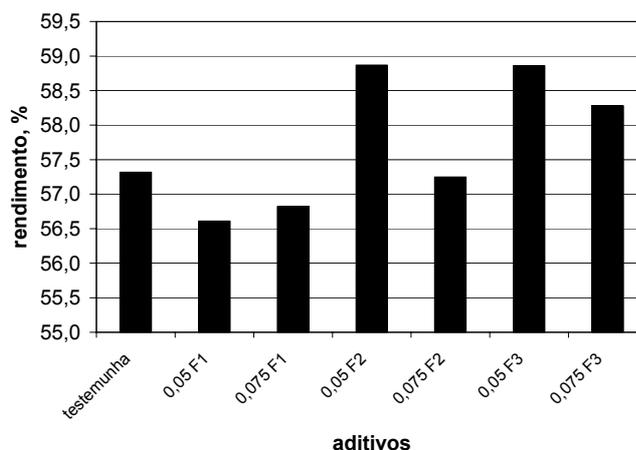


**Figura 2.** Álcali ativo

Os resultados apresentados na figura 2 mostram que os aditivos F1 e F2, além de proporcionar redução no fator H permitiram também a redução da carga alcalina; assim como nos resultados obtidos para fator H, para álcali ativo observa-se que o aditivo F3 não apresentou efeito sobre a redução de carga alcalina.

Conforme já demonstrado por vários autores, em estudos laboratoriais e em experiências industriais, a redução tanto da carga alcalina como do fator H leva a um aumento de rendimento do processo industrial; além do benefício de ganho de rendimento, a redução da carga alcalina tem como consequência a redução do teor de sólidos secos gerados o que por sua vez se reflete na possibilidade de aumento da capacidade de produção de polpa celulósica de unidades industriais que têm a caldeira de recuperação como gargalo ao aumento de produção. A redução do fator H representa uma redução do consumo de vapor e/ou redução do tempo de cozimento, sendo que este último tem como consequência a possibilidade de aumento da capacidade de produção.

Na figura 3 são apresentados os resultados de rendimento obtidos na avaliação laboratorial.



**Figura 3.** Rendimento

Os resultados apresentados na figura 3 mostram que os aditivos F2 e F3 apresentaram os melhores resultados em termos de rendimento. Associando-se os resultados apresentados na figura 3 aos resultados das figuras 1 e 2 pode-se concluir que o aditivo F2 permite um aumento de rendimento da ordem de 2,7%, redução do fator H em 15% e redução da carga alcalina em 5%. Com base nestas conclusões, o aditivo F2 foi selecionado para teste em escala industrial na Klabin Papéis Telêmaco Borba.

## TESTE INDUSTRIAL

A Klabin Papéis Monte Alegre (KPMA), em Telêmaco Borba, é uma unidade industrial integrada de celulose e papel com foco no segmento de embalagens.

A KPMA iniciou sua operação em 1945 e é a maior unidade produtiva do grupo Klabin, com um total de produção em torno de 585.000 toneladas por ano de cartão para embalagem (cartão kraftliner, cartão para alimentos líquidos, “carrier board” e “folding boxboard”).

A madeira entra no Preparo de Madeira com casca e com comprimentos diferentes, múltiplos de 1,20 m. Antes do descascamento são reduzidas para um comprimento padrão de 1,20 m.

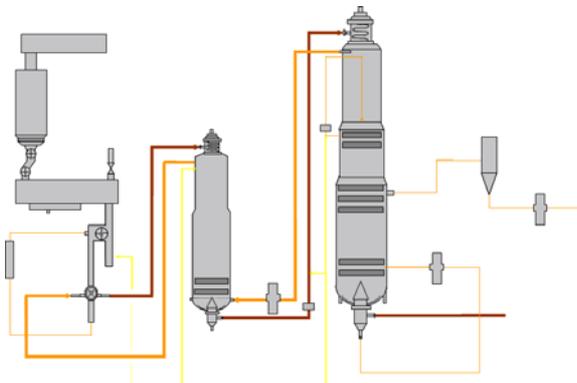
O processo de descascamento é executado, a seco e por meio do atrito entre as toras e com a parede, em dois tambores descascadores, sendo que um opera com pinus e o outro com eucalipto. Todo o eucalipto descascado é picado, obedecendo a especificações de tamanho e espessura, e armazenado em uma pilha de cavacos. As toras de pinus descascadas são picadas e armazenadas em pilha de cavacos.

Da armazenagem na forma de pilhas o cavaco é enviado para os digestores para produção de polpa química.

O preparo de madeira processa aproximadamente 108.000 ton/mês de madeira de pinus e 80.000 ton/mês de madeira de eucalipto.

No digestor contínuo 2 são processadas, alternadamente, madeiras de 100% pinus ou 100% eucalipto. A produção total se situa ao redor de 1400 ton/dia e a polpa proveniente de pinus, com número kappa objetivo igual a 85, de forma que a polpa proporcione na máquina bom desempenho em termos de espessura, é utilizada nas camadas base/meio do cartão para alimentos líquidos e na fabricação do cartão “kraftliner” para confecção de caixas. A polpa proveniente de eucalipto, com número kappa objetivo igual a 90, é utilizada na fabricação do cartão “kraftliner”. A polpa, na saída do digestor, é lavada em contracorrente em uma zona de lavagem, é descarregada passando através de refinadores em linha e é enviada para um difusor em que a lavagem é executada em dois estágios por deslocamento do líquido. Após a lavagem a polpa é refinada novamente, para eliminação de palitos indesejáveis, e enviada para armazenagem.

O teste industrial foi realizado em digestor contínuo, kvaerner de fases combinadas vapor/líquido com vaso de impregnação e lavagem por difusão Hi-Heat com capacidade de produção para 1400 adt/dia (Figura 4).



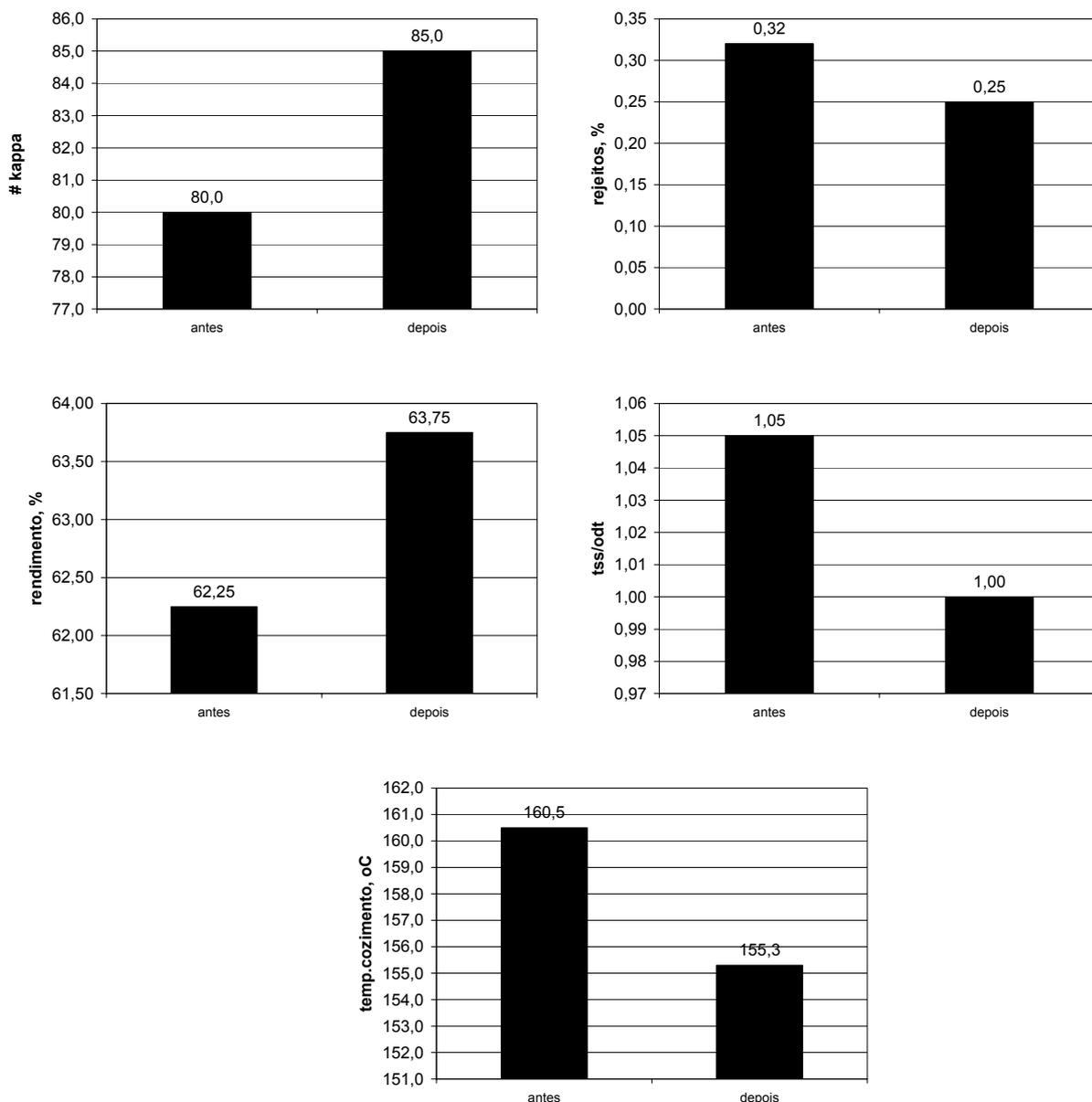
**Figura 4.** Desenho esquemático do sistema de cozimento utilizado para teste industrial

O teste industrial teve início em 07/12/2003 com aplicação de 0,07% de aditivo F2 base madeira seca. Para aplicação do produto utilizou-se um sistema de dosagem composto de bombas dosadoras, medidores de fluxo e válvulas que operam em redundância como forma de garantir a aplicação contínua e precisa do aditivo de polpação (figura 5)



**Figura 5.** Sistema de dosagem desenvolvido para aplicação do aditivo de polpação.

Com o início da aplicação, conforme previsto, observou-se uma redução gradual do número kappa e do teor de rejeitos da polpa para níveis desejados, este último principal objetivo da utilização do aditivo. Considerando-se que a redução do kappa, não era o principal objetivo do teste, iniciou-se uma fase de otimização das condições de cozimento através da redução do fator H. Na figura a seguir são apresentados os principais resultados obtidos após a etapa de otimização do processo com a utilização do aditivo F2.



**Figura 6.** Principais parâmetros do processo industrial – antes do teste e depois da otimização

No processo kraft de polpação, o número kappa está relacionado diretamente a intensidade de deslignificação, com o rendimento do processo e com a geração de rejeitos; considerando-se exclusivamente o rendimento o aumento do número kappa é desejável em determinados patamares, no entanto a geração de rejeitos é um fator limitante. Os resultados obtidos industrialmente (figura 5) mostram que com a aplicação do aditivo de polpação F2 foi possível o aumento do número kappa e a redução do teor de rejeitos; a associação destes aspectos tem como consequência o aumento do rendimento (2,4%) e a redução do teor de sólidos gerados (4,76%).

O aumento de rendimento traz como benefício adicional a redução do consumo específico de madeira (2,3%). Com relação aos sólidos gerados para produção de polpa celulósica, em unidades de produção com limitação em caldeira de recuperação a redução do teor de sólidos significa um aumento na capacidade de produção de celulose, que no caso em questão é da ordem de 5%.

Os resultados obtidos industrialmente mostraram claramente que com o uso do referido aditivo F2 foi possível ainda a redução do fator H (redução da temperatura de cozimento) em 45% o que representou uma economia de vapor; a redução do fator H contribuiu significativamente para uma maior preservação da polpa, que

se expressou através dos aumentos das propriedades de resistência, que por sua vez implicou em um melhor desempenho das máquinas de papel que utilizaram esta polpa como matéria-prima. Com base nestes resultados o aditivo de polpação foi aprovado industrialmente estando em uso contínuo na referida unidade industrial.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos em escala industrial na Klabin Papéis Telêmaco Borba permitiram a obtenção dos seguintes benefícios:

- aumento do rendimento do processo de polpação – 2,4%
- redução do teor de sólidos secos gerados por tonelada de celulose – 4,76%
- aumento da capacidade de produção – 5%
- aumento do número kappa de 80 para 85
- redução do teor de rejeitos – 22%
- redução do consumo específico de madeira – 2,3%

Adicionalmente observaram-se benefícios no processo de lavagem e melhoria nas propriedades físico-mecânicas da polpa obtida.

A análise técnico-econômica dos resultados obtidos no referido teste industrial foi positiva e o aditivo F2 desenvolvido especificamente para a Klabin Papéis Telêmaco foi aprovado para uso contínuo.

Os resultados obtidos industrialmente na Klabin Papéis Telêmaco Borba confirmaram os resultados laboratoriais e o conceito de *tailor made* adotado pela Universidade de São Paulo para o desenvolvimento de aditivos de polpação.

## BIBLIOGRAFIA

- BARRICHELO, L.E.G. e BRITO, J.O. A madeira de *Pinus taeda* como matéria-prima para a produção de celulose: influência dos teores de lenho. Boletim Informativo IPEF, v.6, n.18, p.21-33, jul.1978.
- BLAIN, T. J. & HOLTON, H. H. Economics of AQ pulping: The net value of increased production. *Pulp & Paper Canada*, 84(6):58-63, 1983.
- BROWN, G.W. & KNOWLES, S.E. Applications of anthraquinone to kraft and polysulfide pulp. In: Pulping Conference Proceedings, TAPPI Press, Atlanta, 1980, p.109.
- COURCHENE, C. E. The tried, the true and the new – getting more pulp from chips – modifications to the kraft process for increased yield. In: Breaking the Pulp Yield Barrier Symposium, Atlanta, TAPPI, p 11- 20, 1998.
- DIMMEL, D.R. Pulping with anthraquinone: fundamental chemistry. In: Pulping Conference Proceedings, TAPPI Press, Atlanta, 1996, p.53.
- KUTNEY, G.W. Defining AQ pulp activity: part 1 - AQ vs. sulfidity. In: 1984 Pulping Conference. Proceedings, TAPPI Press, Atlanta, 1984, p.65.
- LAUBACH, G. D. 1997 TAPPI survey of pulping additives – AQ and chip penetrants. In: Breaking the Pulp Yield Barrier Symposium, Atlanta, TAPPI, p 103-112, 1998.
- MORESCHI, J.C. Levantamento da qualidade da madeira em plantações artificiais de *Pinus elliotti* nos estados do Sul do Brasil. Curitiba, 1975, 181p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná.
- MERA, F. E. & CHAMBERLIN, J. L. Extended delignification. an alternative to conventional kraft pulping. *Tappi Journal* 71(1):132-136. 1988.
- OBST, J.R.; LANDUCCI, L.L. e SANYER, N. Quinones in alkaline pulping: beta-ether cleavage of free phenolic units in lignin. *Tappi Journal*, 62(1): 55, 1979.
- SILVA JÚNIOR, F. G. & BARRICHELO, L. E. G. Conversion of the kraft process in soda-DDA (disodium salt of 1,4-dihydro-9,10-dihydroxy anthracene) for eucalyptus. In: *Proceedings of the 1995 Pulping Conference*, Vol. 2, 757, Chicago, 1995.
- SILVA JR., F. G., DURAN, N. & MEI, L. I. Avaliação do efeito da antraquinona e surfactante sobre a polpação kraft de *Eucalyptus* sp. *O Papel*, 59(5):60-65, São Paulo, 1998.
- SILVA JÚNIOR., F.G.; RESENDE, A.; TONELLI, E.; SANTOS, J.T. e ZOLIO, A. Experiências industriais da Votorantim Celulose e Papel na polpação kraft com uso de antraquinona e surfactante. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 30, São Paulo, 1997. Trabalhos Apresentados. São Paulo: ABTCP, 1997. p.191-204.