

Efeito do fator kappa na estabilidade de alvura de polpas kraft branqueada de *Eucalyptus* spp.

Marcelo M. Costa, Celulose Nipo-Brasileira S.A. Cenibra, Belo Oriente, Brasil¹

Maria José de Oliveira, Celulose Nipo-Brasileira S.A. Cenibra, Belo Oriente, Brasil²

Carlos A. Santos, GL&V Brasil Ltda., Campinas, Brasil³

César Leporini Filho, Degussa, São Paulo, Brasil⁴

Resumo

Usualmente, a celulose kraft branqueada comercializada no mercado doméstico e internacional tem como principais parâmetros de sua caracterização óptica, a alvura (*Air Dry* - AD) e a alvura revertida (*Oven Dry* - OD). A diferença entre as mesmas é denominada de reversão de alvura ($\Delta R457\%$ ISO). Esses valores dão indicativo da estabilidade de alvura da polpa kraft branqueada. A reversão de alvura também é considerada, entre outros, um dos principais parâmetros de controle de processo no branqueamento. Neste trabalho verifica-se o efeito da variação do fator kappa (FK) nos principais parâmetros de qualidade da polpa kraft branqueada de *Eucalyptus* spp. O FK foi avaliado para as seqüências $D_0(EP)D_1P$ e $D_{hot}(EP)D_1PD_2$ utilizando-se polpas kraft- O_2 produzidas pelos processos industriais de polpação Kobudo^{MARI} e ITC, respectivamente linha 1 e 2 da CENIBRA. Foram evidenciados, também, neste trabalho a carga de dióxido de cloro consumido e o custo de branqueamento, tendo como base a alvura AD e a alvura OD. Os resultados mostraram que para ambas as seqüências avaliadas o melhor FK para as polpas de *Eucalyptus* spp gira em torno de 0,26. Sob as condições estabelecidas no experimental o FK de 0,26 proporcionou polpas branqueadas de menores valores de reversão de alvura, de grupos carboxila, de grupos carbonilas, de geração de organoclorados e de DQO dos efluentes da seqüência de branqueamento. O FK de 0,26 mostrou também ser o ponto de minimização do consumo de dióxido de cloro, e conseqüentemente do custo dos reagentes químicos usados nas seqüências avaliadas.

Palavras Chaves: Fator kappa, estabilidade de alvura, reversão de alvura, polpa kraft branqueada de *Eucalyptus* spp., consumo de dióxido de cloro, custos operacionais.

Abstract

Bleached Kraft pulp for domestic and international markets usually is commercialized using as main specification parameters for optical characterization that includes brightness (*Air Dry* - AD) and its reverted brightness (*Oven Dry* - OD). The difference between these parameters is named as brightness reversion ($\Delta R457\%$ ISO). These values indicate the brightness stability for the bleached kraft pulp. Among others, brightness reversion is also considered one of the main parameters for bleaching process control. This paper evaluates the effect of kappa factor (KF) on the main quality parameters of the *Eucalyptus* spp. bleached kraft pulp. The KF was evaluated for the sequences $D_0(EP)D_1P$ and $D_{hot}(EP)D_1PD_2$ using mill kraft- O_2 pulp samples produced using Kobudo^{MARI} e ITC cooking processes, respectively at CENIBRA's lines 1 and 2. It was also evaluated in this study the chlorine dioxide consumption and the bleaching cost, using as basis both the AD brightness and the OD brightness. The results showed that for both sequences the best KF for the *Eucalyptus* spp. pulps is around 0.26. For the established experimental conditions the KF 0.26 produced bleached pulps with the lowest brightness reversions, carboxyl and carbonyl groups, and also the lowest generation of organochlorides and COD in the effluents of the bleaching sequences. The KF 0.26 also showed to be the point that minimizes the chlorine dioxide consumption, and therefore the cost with chemicals used in the bleaching sequences.

Key Words: ECF pulp brightness stability, bleached eucalyptus Kraft pulp, Yellowing, chlorine dioxide consumption, kappa factor, pulp quality, operational costs.

¹ Tel.: 55-21-3829 5854, Fax: 55-21-3829 5844, marcelo.moreira@cenibra.com.br

² Tel.: 55-21-3829 5813, Fax: 55-21-3829 5844, maria.jose@cenibra.com.br

³ Tel.: 55-19-3252 2601, Fax: 55-19-3252 6981, carlos.santos@glv.com

⁴ Tel.: 55-11-3146 4102, Fax: 55-11-3146 4115, cesar.leporini@degussa.com

1. INTRODUÇÃO

A principal finalidade do branqueamento de polpa celulósica é obter uma polpa de alvura adequada para as exigências de mercado, através da remoção ou modificação de alguns componentes da polpa não-branqueada, incluindo, principalmente, a lignina e os seus produtos degradados, os ácidos hexenurônicos, os extrativos e íons metálicos. O branqueamento deve ser realizado, preferencialmente, com um mínimo de degradação da polpa por perda de viscosidade e/ou rendimento, de consumo de produtos químicos, de formação de grupos carbonilas e carboxilas, bem como de impacto ao meio ambiente. Portanto, um processo de branqueamento, seja ele convencional, ECF ou TCF, requer um conjunto de características, mas precisa primordialmente produzir polpas de alvura aceitável no mercado.

Arelado à alvura da polpa kraft branqueada, um outro importante parâmetro de qualidade é a estabilidade de alvura. Usualmente, denominado por reversão de alvura, a estabilidade é mensurada pelo delta entre a alvura antes e após tratamento térmico em estufa (Δ R457 %ISO). Polpas branqueadas com alvuras de mercado contêm pequenas quantidade de grupos leucocromóforos. Assim, a estabilidade de alvura depende destes grupos residuais presentes na polpa branqueada, tais como: (1) lignina residual, (2) ácidos hexenuronoxilana (AHex's), (3) carboidratos oxidados, (4) extrativos e (5) metais de transição. Além desses vários fatores que contribuem para a instabilidade de alvura da polpa branqueadas, as principais reações da reversão de alvura não estão ainda bem compreendidas ^[1]. Portanto, a literatura especializada julga que a estabilidade de alvura da polpa kraft branqueada é resultante de uma matriz de variáveis. Por outro lado, a maior parte dos trabalhos técnicos voltados para otimização das seqüências de branqueamento têm como base de comparação a alvura AD (air dry) e não sua estabilidade.

Foi demonstrado que o consumo de dióxido de cloro na seqüência DEDD é devido ao *carry over* (13,1%), aos AHex's (42,4%), às carbonilas (2,9%) e aos complexos lignina-carboidratos + lignina residual (41,6%). Cada fração do número kappa apresenta uma branqueabilidade diferenciada. Portanto, a variação na qualidade da polpa kraft-O₂ ou mesmo da lavagem da polpa resulta em uma provável instabilidade do branqueamento. Além de afetar o custo operacional, a instabilidade de processo e a qualidade da polpa kraft-O₂ determinam a qualidade do produto acabado ^[2]. Menciona-se que ao lado da presença de grupos carbonila na polpa, o teor residual de ácidos hexenurônicos é também apontado como uma das principais razões para a reversão de alvura ^[3, 4].

O fator kappa (FK) é um parâmetro muito difundido para tal controle, que leva em consideração as variações do número kappa na entrada do branqueamento, permitindo-se dosar com maior eficiência o ClO₂ necessário ao primeiro estágio ^[5]. Apesar de bem difundidos, alguns fatores dificultam seu uso como maior freqüência das análises de número kappa e condições muito adversas de DQO da polpa kaft-O₂. Uma maior estabilidade do processo pode ser alcançada pelo uso do FK otimizado. Entretanto, deve-se ressaltar que outras variáveis tais como, DQO, e o conteúdo de metais de transição na polpa Kraft-O₂, também devem ser considerados, já que afetam a branqueabilidade e a estabilidade de alvura da polpa branqueada .

Reporta-se que reduzindo-se a dosagem de dióxido de cloro no primeiro estagio de dioxidação, através da redução do FK se tem menor geração de organoclorados ^[6]. Porém, esta dosagem somente poderia ser reduzida de forma eficaz se o conseqüente menor decréscimo do # kappa da polpa for compensada por outras alterações no processo tais como: (1) polpação kraft estendida; (2) deslignificação intensiva com oxigênio, (3) incremento da carga de produtos químicos em outros estágios e (4) outras modificações no processo de branqueamento ^[7, 8].

Esse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito, de diferentes cargas de dióxido de cloro proporcionadas por variações do FK aplicados no primeiro estágio de dioxidação das seqüências D₀(EP)D₁P e D_{hot}(EP)D(EP)D, no consumo de dióxido de cloro, custo de reagentes químicos de branqueamento, carga de DQO e AOX geradas nos efluentes, conteúdo de grupos carbonila/carboxila, bem como pela estabilidade de alvura (Δ R457 %ISO) da polpa kraft branqueada de *Eucalyptus* spp.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Foram amostradas três polpas kraft-O₂ nas linhas de fibra 1 e 2, denominadas “S”, “P” e “Q”, conforme listado no Quadro 1.

Quadro 1 – Principais características das polpas amostradas no processo CENIBRA

Principais Parâmetros	Linha 1	Linha 2		
	kraft-O ₂ (S)	Kraft O ₂ (P)	Kraft-O ₂ (Q)	
Número Kappa	9,0	11,6	9,3	
Alvura, % ISO	44,5	43,8	56	
Viscosidade, mPa.s	22,4	27,8	18,7	
Metais, g/t	Ca	376	862	764
	Mg	26,3	35,2	26,7
	Mn	11,4	12,	3,50
	Fe	6,9	6,6	23,2
	Cu	0,05	0,0	0,26
	Co	-	-	0,21

2.2. Método

O Quadro 2 mostra os principais parâmetros analisados utilizados no trabalho bem como seus respectivos procedimentos analíticos.

Quadro 2 – Principais parâmetros analisados

Parâmetros Analisados	Método
Confecção de Folhas	TAPPI – 205
Número Kappa	TAPPI – 236
Viscosidade	TAPPI – 230
Teor de Cinza	TAPPI – 211
Conteúdo de Metais	TAPPI – 266
Alvura (air dry – AD) ^(a)	ABNT – 14529, baseado TAPPI 260
Alvura Revertida (oven dry - OD) ^(a)	Método Cenibra P0576, Baseado ABNT 14530

^(a) Reversão de alvura (Δ R457% ISO) obtida pela diferença entre alvura AD e alvura OD.

2.2.1. Metodologia do teste de reversão de alvura

Previamente, foi realizado testes para validação do tempo de permanência do teste de reversão de alvura. As principais condições do teste de reversão de alvura realizado na polpa branqueada foram consistência, pH e temperatura ajustados, respectivamente para $92 \pm 1\%$, $6 \pm 0,5$ e $105 \pm 3^\circ\text{C}$. Foram avaliados tempos de permanência em estufa de 1 até 36h para 4 polpas branqueadas em diferentes alvuras iniciais (88, 89, 90 e 91 %ISO). Os resultados mostram que os valores da taxa de incremento da reversão de alvura em função do tempo de permanência em estufa (dR457/dt) apresentaram-se estatisticamente iguais para as quatro polpa avaliadas a partir de 18h em estufa. O procedimento interno CENIBRA P0576 baseado na ABNT recomenda para metodologia de reversão de alvura a permanência em estufa de 18h, pois minimiza variações devido ao tempo de permanência.^[9]

2.2.2. Otimização do fator kappa (FK) nas seqüências D₀(EP)D₁P e D_{hot}(EP)D₁PD₂

Com a finalidade de otimizar o consumo de ClO₂ na seqüência D₀(EP)D₁P e D_{hot}(EP)D₁PD₂, baseando-se na minimização do parâmetro reversão de alvura, verificou-se o efeito do FK. Neste experimento foram utilizadas as polpas “S” e “Q”, respectivamente para as seqüências D_{hot}(EP)D₁PD₂ e D₀(EP)D₁P. As principais características das polpas kraft-O₂ estão listadas no Quadro 1. O *carry over* das polpas “S” e “Q” foram ajustadas para valores médios da demanda química de oxigênio, respectivamente da linha 1 de 0,2 kg O₂/t_{sa} e da linha 2 de 8,8 kg O₂/t_{sa}. As principais condições de ambas as seqüência de branqueamento podem ser notadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Principais condições das seqüências D₀(EP)D₁P e D_{hot}(EP)DPD

Condições	Estágios das Seqüência de Branqueamento ECF ^(a)					
	D ₀	D _{hot}	(EP)	D ₁	P	D ₂
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min	40	130	55 – 63	110 – 150	40 – 150	150
Temperatura, °C	75	90	80 – 82	75	82	82
ClO ₂ , kg/t _{sa}	5,70 – 10,84 ^(b)	5,55 – 10,46 ^(c)	-	3,8 – 7,60	-	-
H ₂ O ₂ , kg/t _{sa}	-	-	3	-	3	3
H ₂ SO ₄ , kg/t _{sa}	2 – 7	2 – 6	-	-	-	-
NaOH, kg/t _{sa}	-	-	9 – 10	1,1	5 – 6	6

^(a) Lavagem da polpa entre os estágios realizada em escala laboratorial com aproximadamente 7,5 m³/t_{sa};

^(b) Fator kappa 0,18/ 0,22/ 0,26/ 0,30/ 0,34;

^(c) Fator kappa 0,18/ 0,26/ 0,34.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Otimização do fator kappa (FK) nas seqüências D₀(EP)D₁P e D_{hot}(EP)D₁PD₂

Neste experimento para otimização do FK da seqüência D₀(EP)D₁P utilizou-se a polpa kraft-O₂ identificada pela letra “P” (Quadro 1). As Figuras 1 e 2 mostram, respectivamente, as relações de decréscimo do número kappa com o ganho de alvura e perda de viscosidade, ambos em função do incremento do FK para as polpas D₀(EP). Como esperado, o incremento do fator kappa (FK) resultou em reduções de número kappa e ganhos de alvura. A seletividade (Δ Kappa/ Δ Viscosidade) também decresce em função do incremento do FK e tende a estabilizar em valores próximos de 1,1 unidade de número kappa/unidade de viscosidade perdida.

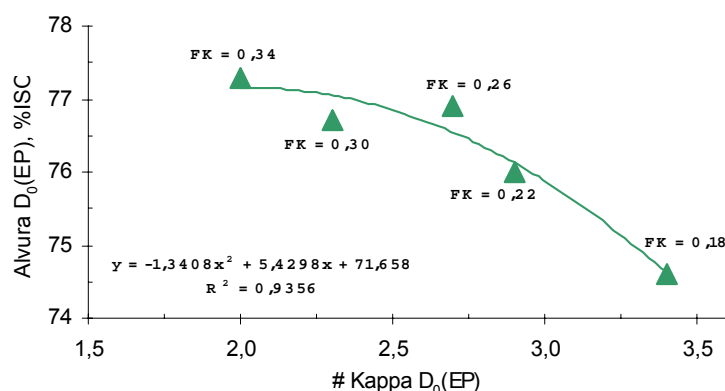


Figura 1 – Correlação entre o # kappa e a alvura da polpa D₀(EP) em função do incremento do FK.

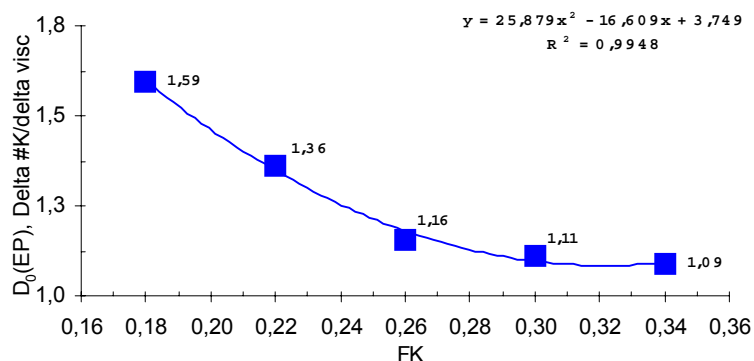


Figura 2 – Correlação entre a seletividade (Δ Kappa/ Δ Viscosidade) da polpa $D_0(EP)$ e o incremento do FK do estágio D_0 .

A Figura 3 mostra a reversão de alvura estimada para alvura AD de 89% ISO em função do FK usado no primeiro estágio da seqüência $D_0(EP)D_1P$. Observa-se que os menores valores de reversão (1,4 %ISO) foram obtidos com o FK de 0,26. As dosagens de dióxido de cloro e custo de reagentes químicos da seqüência $D_0(EP)D_1P$ são apresentados nas Figuras 4 e 5, respectivamente, tendo como base a alvura AD (89% ISO) e a alvura OD (85% ISO). Considerando-se esse critério, observa-se que o FK 0,26 apresenta a menor carga de dióxido de cloro, bem como o menor custo dos reagentes químicos de branqueamento.

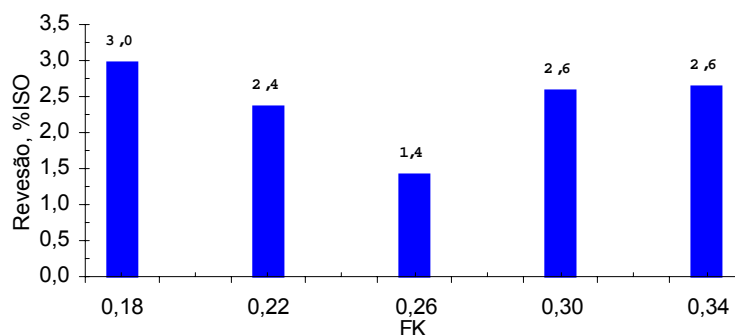


Figura 3 – Reversão de alvura (Δ R457 %ISO) em função do FK da seqüência $D_0(EP)D_1P$.

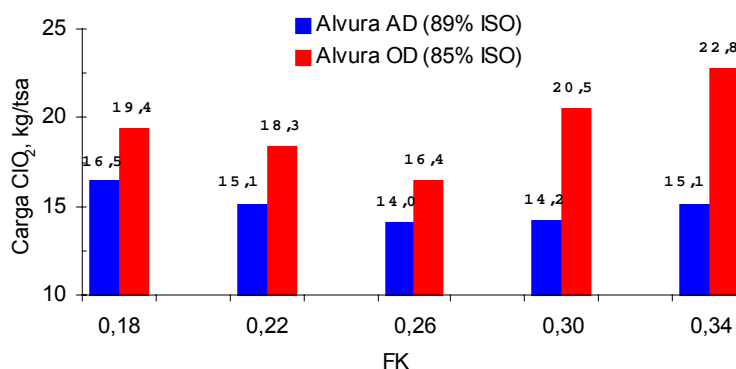


Figura 4 – Carga de dióxido de cloro utilizado na seqüência $D_0(EP)D_1P$ para alvura AD de 89% ISO e alvura OD de 85% ISO em função do FK.

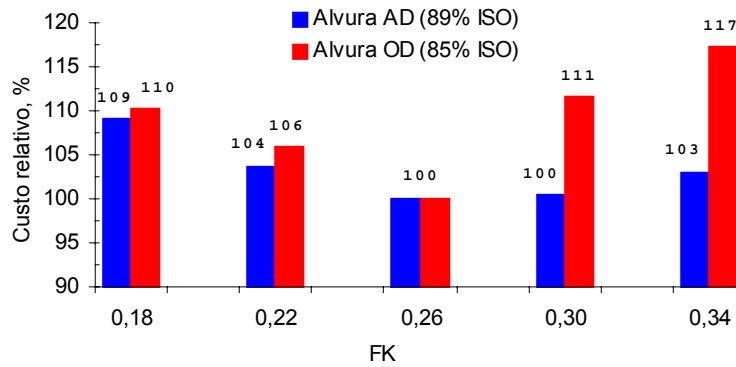


Figura 5 – Custo dos reagentes químicos utilizados na seqüência $D_0(EP)D_1P$ para alvura AD de 90% ISO e alvura OD de 85% ISO em função do FK.

Para otimização do FK na seqüência $D_{hot}(EP)D_1PD_2$ utilizou-se a polpa “S” (Quadro 1). Na Figura 6 verifica-se o comportamento das alvuras AD e OD para três diferentes valores de FK em função da carga total de dióxido de cloro consumido nesta seqüência. Os resultados mostram que o FK 0,26 resultou em maiores alvuras, seja AD ou OD, para uma mesma dosagens total de dióxido de cloro na seqüência.

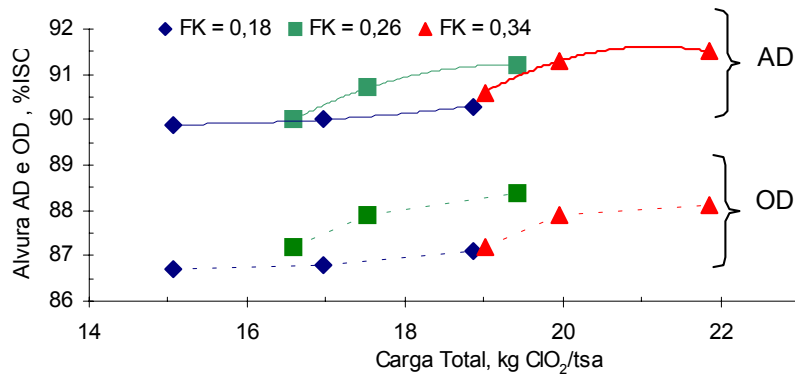


Figura 6 – Correlação entre a alvura AD e alvura OD com a carga de dióxido de cloro consumido na seqüência $D_{hot}(EP)D_1PD_2$ para diferentes FK.

Nota-se nas Figuras 7 e 8 que em escala laboratorial o FK 0,26 minimiza a carga total de dióxido de cloro e o custo dos reagentes químicos consumidos na seqüência $D_{hot}(EP)D_1PD_2$, respectivamente. Esta otimização do consumo de dióxido de cloro nas seqüências em função do FK do primeiro estágio de dióxido de cloro (D_0, D_{hot}) mostra claramente que a carga deste passa por um ponto que maximiza a estabilidade de alvura da polpa branqueada. A Figura 9 ilustra os valores de reversão de alvura das linhas de fibra 1 e 2. Nota-se, em escala industrial que a estabilidade de alvura da polpa branqueada aumentou devido a inclusão do estágio D_{hot} na linha 1, bem como pela adoção do FK 0,26 em ambas as linhas de fibra.

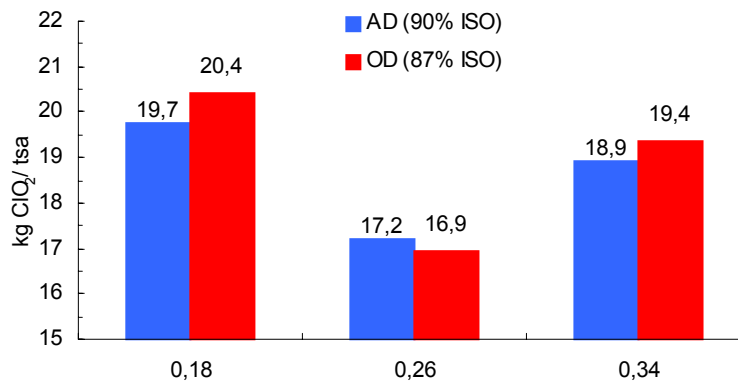


Figura 7 – Carga de dióxido de cloro utilizado na seqüência $D_{hot}(EP)D_1PD_2$ para alvura AD de 90% ISO e alvura OD de 87% ISO para diferentes FK.

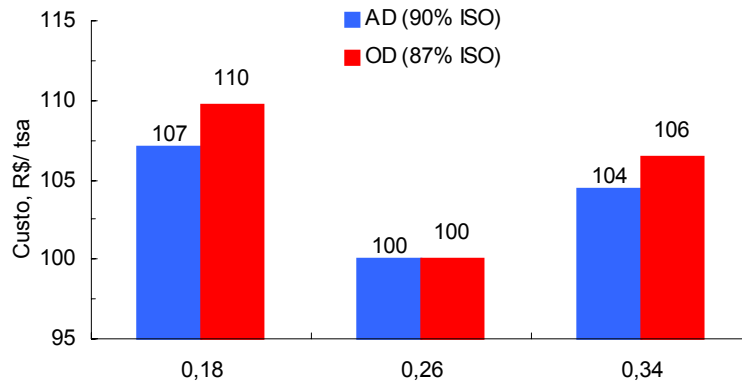


Figura 8 – Custo dos reagentes químicos utilizados na seqüência $D_{hot}(EP)D_1PD_2$ para alvura AD de 90% ISO e alvura OD de 87% ISO para diferentes FK.

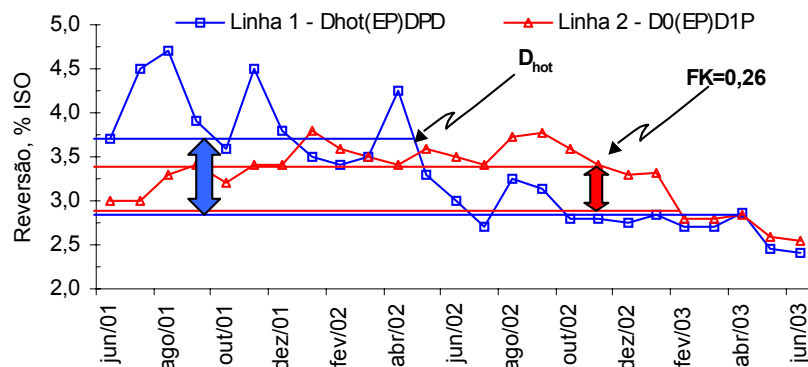


Figura 9 – Comportamento da reversão de alvura da polpa branqueada nas linhas 1 e 2 da CENIBRA.

3.2. Efeitos do FK na qualidade do efluente e da polpa branqueada

Com finalidade de avaliar o efeito do fator kappa em alguns dos principais parâmetros de qualidade do efluente e da qualidade da polpa, coletou-se outra amostra de polpa kraft- O_2 identificada pela letra “P” (Quadro 1). Nota-se na Figura 10 e 11 a geração de DQO e AOX nos efluentes da seqüência $D_0(EP)D_1P$ em função do FK. Observa-se que o FK 0,26 minimiza as cargas destes poluentes gerados na seqüência de branqueamento. A carga de dióxido de cloro usada na seqüência foi otimizada para se obter 87%ISO de alvura OD. Como mostrado anteriormente para a polpa “Q” (Figura 7) o FK 0,26 minimiza a carga de dióxido de cloro na seqüência $D_0(EP)D_1P$, também para a polpa “P” (Figura 12). Conseqüentemente, o FK 0,26 minimiza a geração *in situ* de espécies de cloro elementar durante a dioxidação da polpa nos dois estágios em questão da seqüência $D_0(EP)D_1P$. Esse fato explica, a menor geração de carga orgânica vinda da degradação da polpa, bem como a menor formação de organoclorados nos efluentes do branqueamento.

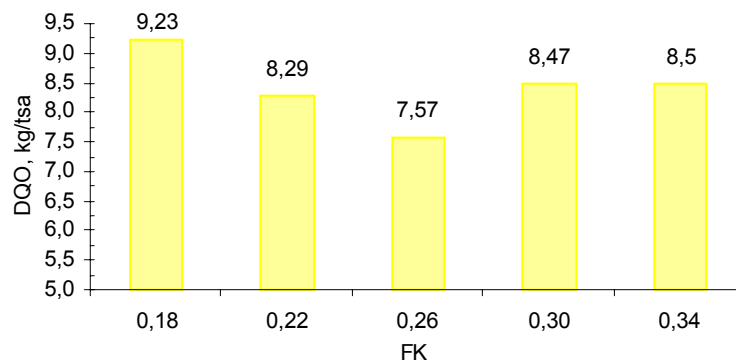


Figura 10 – Formação de DQO nos efluentes da seqüência $D_0(EP)D_1P$ em função do FK para alvura OD de 87% ISO.

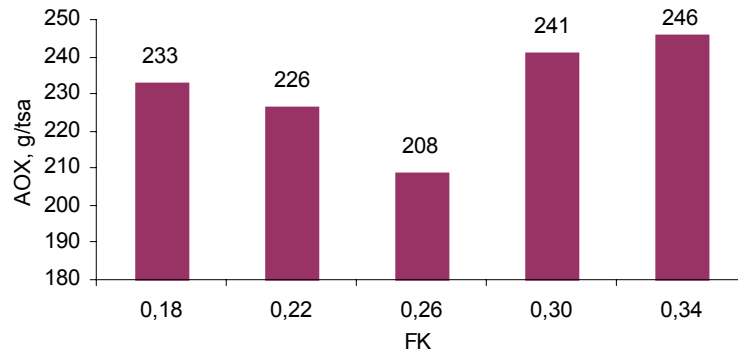


Figura 11 – Formação de AOX nos efluentes da seqüência $D_0(EP)D_1P$ em função do FK para alvura OD de 87% ISO.

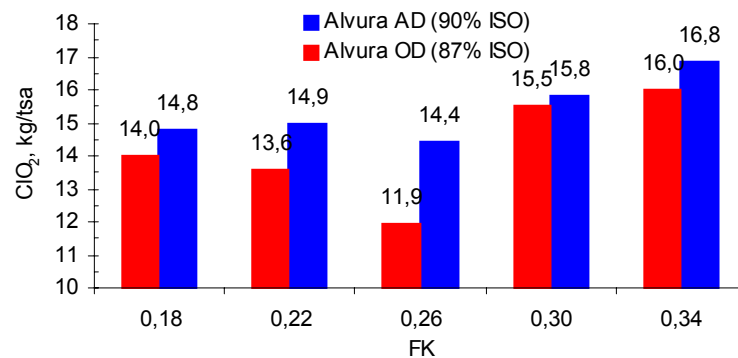


Figura 12 – Carga de dióxido de cloro utilizado na seqüência $D_0(EP)D_1P$ para alvura AD de 90% ISO e alvura OD de 87% ISO em função do FK.

Além da menor geração de DQO e AOX observa-se para o FK 0,26 menores valores de carbonila (Nº Cobre) e carboxila presentes na polpa, respectivamente mostrados na Figura 13 e 14. Este fato está de acordo com o exposto na literatura na qual existem duas fontes da instabilidade de alvura. Provavelmente, num primeiro momento, para FK mais baixos deixa-se na polpa um maior conteúdo de grupos leucocromóforos (AHex's), bem como estruturas de lignina residual^[10]. Por outro lado, para FK mais elevados tem-se a formação em maior intensidade de grupos carbonila na polpa branqueada^[11, 4]. Conseqüentemente, a estabilidade de alvura da polpa branqueada (Figura 15) é resultante apenas do conteúdo de grupos carbonila presentes na mesma (Figura 16). O FK de 0,26 mostra ser um ponto no qual sob as condições expostas no experimental minimiza a formação de grupos carboxila e, principalmente, de grupos carbonila resultando em maior estabilidade de alvura.

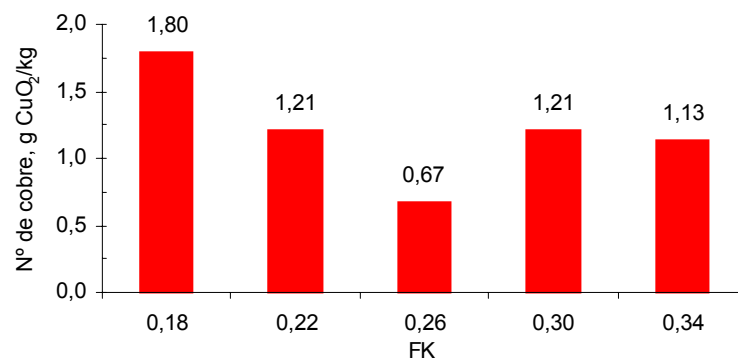


Figura 13 – Conteúdo de carbonilas expresso pelo número de cobre das polpas branqueadas na seqüência $D_0(EP)D_1P$ em função do FK.

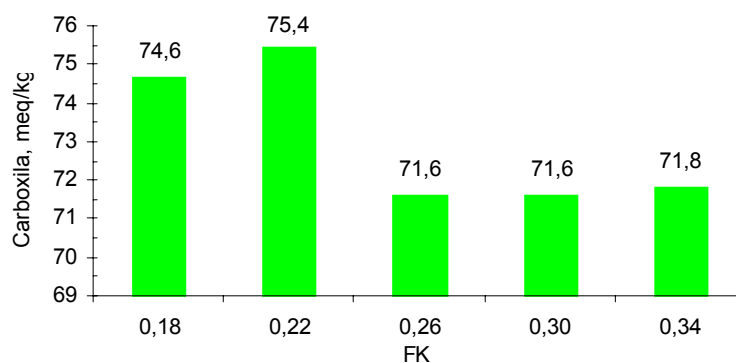


Figura 14 – Conteúdo de carboxilas das polpas branqueadas na seqüência D₀(EP)D₁P em função do FK.

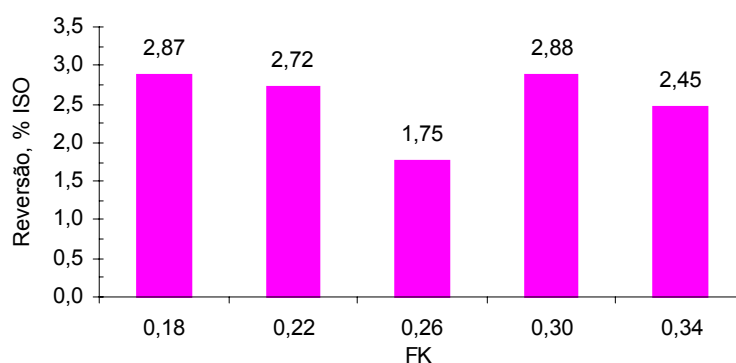


Figura 15 – Reversão de alvura (Δ R457 %ISO) em função do FK da seqüência D₀(EP)D₁P.

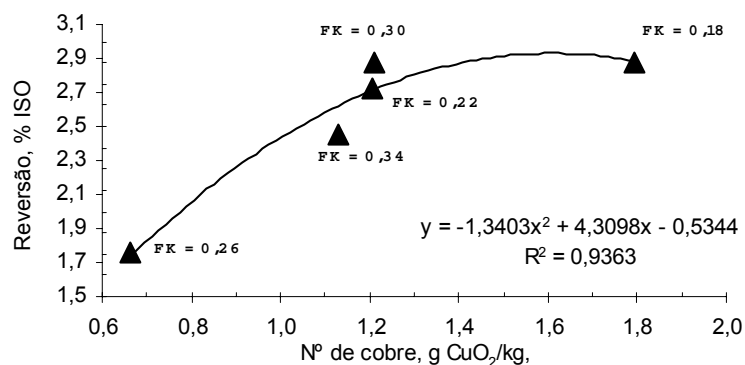


Figura 16 – Correlação entre a reversão de alvura (Δ R457 %ISO) e o conteúdo de grupos carboxilas em função do FK da seqüência D₀(EP)D₁P.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho com polpas kraft branqueadas de *Eucalyptus* spp. amostradas no processo CENIBRA permitiram concluir que:

- (1) O FK ideal obtido foi de 0,26 para as seqüências avaliadas, D₀(EP)D₁P e D_{hot}(EP)D₁PD₂, considerando o consumo total de dióxido de cloro e o custo dos produtos químicos de branqueamento, baseando-se tanto na alvura AD, quanto na alvura OD.
- (2) O FK de 0,26 gerou menores formações de AOX e DQO nos efluentes da seqüência D₀(EP)D₁P.
- (3) O FK de 0,26 gerou uma menor formação de grupos carbonila e por conseqüência polpa branqueada de maior estabilidade de alvura.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. TENKANEN M.; FORSSKAHI I.; TAMMINEN T.; RANUA M.; VUORENVIRTA K.; POPPIUS-LEVLIN K. Heat-induced brightness reversion of ECF-light bleached pine kraft pulp. In: SEVEN EUROPEAN WORKSHOP ON LIGNOCELLULOSES AND PULP (EWLP), 2002, Turku, Finland. *Proceedings...*, Finland, August 26-29, 2002, p. 107-110.
2. COSTA, M. M., COLODETTE, J. L. Efeito da composição química da polpa kraft-O₂ na sua branqueabilidade. In: 34^º CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, ABTCP, 2001, São Paulo. **Proceedings...**, São Paulo, Brasil, 2001.
3. WENNERSTRÖM, M. Decreasing brightness reversion with powerful ozone bleaching. In: TAPPI INTERNATIONAL PULP BLEACHING CONFERENCE, 2002. **Proceedings...**, p 265-270.
4. SJOSTROM, E. and ERIKSSON, E. The influence of carboxyl and carboxyl groups on the brightness stability of bleached pulps. **Tappi Journal**, v. 51, n. 1, p.16, 1968.
5. TESSIER, P. and SAVOIE, M. Brightness reversion of hardwood and softwood kraft pulps during bleaching. **Tappi Journal**, v. 1, n. 8, p. 28-32, October 2002.
6. KLEIN, R.J. and STRUNK, W.G. Low kappa factor bleaching – A Low capital strategy to achieve EPA guidelines. In: PULP & PAPER INTERNATIONAL NON-CHLORINE BLEACHING CONFERENCE, 1994. **Proceedings...**, 1994, Session 2.3.
7. BASTA J., HOLTINGER, L., HOOK, J., E LUNGGREN, P. **Tappi Journal**, v. 73, n. 4, p. 155-160, 1990.
8. SCHANTES, T.A. and MCDOUNOUGH, T.J., Characterization of effluent fractions from ClO₂ and Cl₂ bleaching of unbleached and O₂ bleached softwood kraft pulps. In: APPITA/TAPPI INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONFERENCE, 1994, Portland. **Proceedings...**, Portland, 1994, p. 527-551.
9. FONSECA, M.J., COSTA, M.M., FROSSARD, V., AVANCINI, W.. Cenibra – primeiro lugar em sucesso e experiência. **O Papel**, p.45-47, Julho 2003.
10. TRAN A. V. Thermal yellowing of hardwood kraft pulp bleached with a chlorine dioxide based sequence. **Journal of Pulp and Paper Science.**, v. 28, n. 4, p. 115-121, April 2002.
11. CHIRAT, C. and DELA CHAPELLE, V. Heat and light-induced brightness reversion of bleached chemical pulps. **J. Pulp Paper Sci.**, v. 25, n. 6, p.201, 1999.