



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102014016692-0 A2

(22) Data do Depósito: 04/07/2014

(43) Data da Publicação: 29/03/2016
(RPI 2360)



(54) Título: PROCESSO DE
BRANQUEAMENTO DE CELULOSE E DE
PRODUÇÃO DE DERIVADOS DE CELULOSE

(51) Int. Cl.: D21C 9/10; D21C 9/14; D21C 9/16

(73) Titular(es): UNIVERSIDADE ESTADUAL
PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO

(72) Inventor(es): GUSTAVO VENTORIM,
JAQUELINE SILVEIRA COMELATO FÁVARO

(74) Procurador(es): FABÍOLA DE MORAES
SPIANDORELLO

(57) Resumo: RESUMO PROCESSO DE
BRANQUEAMENTO DE CELULOSE E DE
PRODUÇÃO DE DERIVADOS DE
CELULOSE ã descrito um processo de
branqueamento de celulose e de produããõ de
derivados de celulose que compreende a
sequãncia AHTDP, que inclui um primeiro
estãgio de branqueamento da polpa de celulose
denominado hidrãlise ãcida (AHT), onde uma
parte de polpa de celulose ã misturada a nove
partes de reagentes ãcidos, por cerca de 2
horas, a uma temperatura de 98 oC e pH de 3,0;
um segundo estãgio do processo de
clareamento (D) onde uma parte da polpa de
celulose ã misturada em nove partes de uma
soluããõ contendo diãxido de cloro e
hidrãxido de sãdio, mantidos a uma
temperatura de 70 oC, por cerca de 2 horas,
com pH entre 5,0 a 5,5; e um terceiro estãgio
do processo de clareamento (P) onde uma parte
de polpa de celulose ã misturada com nove
partes de uma soluããõ contendo perãxido
de hidrogãnio e hidrãxido de sãdio,
ã temperatura de 98 oC por cerca de 2 horas,
sendo mantido o pH entre 10,5 a 11,0.

PROCESSO DE BRANQUEAMENTO DE CELULOSE E DE PRODUÇÃO DE DERIVADOS DE CELULOSE

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção descreve um processo de branqueamento de celulose e de produção de derivados de celulose. Mais especificamente compreende um processo com apenas três estágios de branqueamento – um primeiro estágio de hidrólise ácida, um segundo estágio de clareamento da polpa de celulose utilizando dióxido de cloro e um terceiro estágio de clareamento utilizando peróxido de hidrogênio, utilizando menor quantidade de reagentes que os processos convencionais, e atingindo a alvura de 90% ISO.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] O principal objetivo do branqueamento celulósico é remover quimicamente os grupos que dão cor à polpa. Durante o processo de branqueamento de fibra curta, são utilizados reagentes de branqueamento. O branqueamento ECF (livre de cloro elementar) de celuloses químicas é atualmente a tecnologia dominante no segmento de celulose comercial de alta alvura. Cerca de 75% da celulose química branqueada do mundo é produzida com essa tecnologia, com a expectativa de a proporção aumentar ainda mais, dada a tendência em relação à adesão ao processo ECF no Japão e no Brasil. A celulose ECF já responde por mais de 70% da produção brasileira [Ventorim, G.; Colodette, J. L.; Eiras, K. M. O destino de espécies de cloro durante o branqueamento com dióxido de cloro a altas temperaturas. *O Papel*, v. 70, n. 8, p. 39-50, 2009].

[003] Segundo Navarro [Navarro, R. M. S. Estudo dos diferentes tipos de processos de branqueamento de celulose objetivando a comparação entre seus métodos e a geração do potencial de poluentes em seus respectivos efluentes. 2004. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP], a introdução de estágios isentos de cloro elementar deu-se devido a

diversos fatores ambientais, mas também teve o propósito inicial de reduzir as perdas de resistência da polpa causada pelo cloro, bem como proporcionar aumento da seletividade do processo de branqueamento. Outra vantagem desta modificação é vista pela diminuição de compostos organoclorados no efluente de branqueamento. Apesar dos riscos ambientais advindos dos compostos organoclorados gerados pela utilização de dióxido de cloro em sequências ECF serem significativamente menores, trata-se de uma tecnologia que já é bem estabelecida no mercado [Malinen, R.; Rantanen, T.; Rautonen, R.; Toikkanen, L. TCF bleaching to high brightness – bleaching sequences and pulp properties. In: *International Bleaching Conference*, 1994, Vancouver. Proceedings. Vancouver: TAPPI, p. 187-194, 1994; Mieli, J. C. A. *Sistema de Avaliação Ambiental na Indústria de Celulose e Papel*. 2007. 99f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG; Tran, H.; Villarroel, R. Challenges in black liquor recovery in modern kraft pulp mills. In: *Internacional Colóquio On Eucalyptus Pulp*, 5, 2011. Porto Seguro. Proceedings. Viçosa: UFV. 2011. CD-Rom].

[004] O branqueamento nas indústrias é efetuado em torres, em sequências de quatro a seis estágios para atingir uma alvura de 90% ISO. Cada estágio consiste na mistura da polpa com reagentes químicos e vapor, na reação dessa mistura e na lavagem da polpa após a reação.

[005] Os estágios de branqueamento podem variar em número e tipo, pois dependem de diversos fatores relativos à qualidade da polpa branqueada, alvura requerida, tipo de material utilizado e do número kappa inicial da sequência. Nas indústrias de celulose, cada um dos estágios é realizado em torres de branqueamento, nas quais a polpa é misturada com reagentes químicos e vapor, e após a reação desta mistura, a polpa é lavada e segue para o próximo estágio [Mieli, J. C. A. *Sistema de Avaliação Ambiental na Indústria de Celulose e Papel*. 2007. 99f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG].

[006] De acordo com Dence e Reeve [Dence, C. W.; Reeve, D. W. *Pulp bleaching: principles and practice*. Atlanta: Tappi Press. 1996. 800p.], o processo de branqueamento busca atingir os parâmetros usuais de medida de sua eficiência, como as propriedades ópticas, que estão relacionadas com a absorção ou reflexão de luz (alvura, reversão de alvura, opacidade e brancura). Nos primeiros estágios das sequências de branqueamento, os reagentes químicos têm a função de atacar quimicamente a lignina residual e outros compostos indesejáveis a fim de dissolvê-los e eliminá-los do processo através da lavagem. Entretanto, os estágios finais têm a principal função de promover o alveamento da polpa até os desejados níveis de alvura.

[007] Durante os estágios de clareamento, produtos químicos são aplicados às polpas celulósicas com o objetivo de aumentar sua alvura. Vários compostos podem ser utilizados durante o branqueamento da polpa celulósica, tal como o dióxido de cloro (ClO_2) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2).

[008] A eficiência do branqueamento pode ser melhorada removendo-se os ácidos hexenurônicos da polpa através de uma hidrólise ácida, resultando numa economia de reagentes de branqueamento, o qual tem aplicação especialmente em branqueamentos ECF (Vuorinen, T.; Burchert, J.; Teleman, A.; Tenkanen, M.; Fagerstrom, P. Selective hydrolysis of hexen uronic acid group sand its application in ECF and TCF bleaching of Kraft pulps. In: *International Pulp Bleaching Conference*, 1996, Washington, D.C. Proceeding. Washington, D.C.: Tappi, v. 1, 1996, p. 43-51).

[009] Um estágio de peróxido de hidrogênio (P) final típico das indústrias de branqueamento de celulose é realizado nas seguintes condições: consistência de 10%, tempo de retenção de 120 minutos e pH final de 10,5. A quantidade de peróxido utilizada deve ser proporcional à alvura final desejada, porém deve ser o suficiente para que garanta um

pequeno residual ao final do branqueamento, para que a reversão alcalina da alvura seja evitada (Siqueira, J. L.; Silva, L. L. Branqueamento de polpa Kraft de eucalipto – O papel do peróxido de hidrogênio. In: *Colóquio Internacional Sobre Celulose Kraft de Eucalipto*. Anais. Viçosa, CD-Rom, 2003).

[010] Apesar do peróxido de hidrogênio possuir uma facilidade em sua aplicação, sua relação custo/benefício limita sua aplicação a cargas da ordem de 3 a 5 kg/t em estágios de extração e resulta em pequenos incrementos de alvura (Robles, Y. A. M.; Souza, L. C.; Filho, C. L. Avaliação de diferentes tecnologias de branqueamento para obtenção de polpa *kraft* de eucalipto. *O Papel*, v.67, n. 7, p. 62-78, 2006).

[011] O peróxido de hidrogênio é tradicionalmente usado a temperaturas menores que 90 °C, ou em longos tempos de reação, para que o consumo seja efetivo. No entanto, demanda por polpas ECF, ECF Light (com pouco dióxido de cloro) e mesmo TCF (Totalmente Livre de Cloro) tem exigido maior efetividade do peróxido, a fim de diminuir seu custo operacional de aplicação no branqueamento [Robles, Y. A. M.; Souza L. C.; Filho, C. L. Avaliação de diferentes tecnologias de branqueamento para obtenção de polpa *kraft* de eucalipto. *O Papel*, v.67, n. 7, p. 62-78, 2006].

[012] A hidrólise ácida (A_{HT}) é um estágio utilizado no branqueamento de polpa celulósica para remoção dos ácidos hexenurônicos. Os ácidos hexenurônicos são gerados na polpação kraft de madeiras de folhosas, sendo responsáveis por consumir reagentes químicos de branqueamento e causar reversão de alvura no papel. Ela pode causar perdas de viscosidade e rendimento [Silva, M. R. Estudo laboratorial e industrial do estágio de hidrólise ácida no branqueamento de polpa kraft de eucalipto. 2001. 120f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa- MG] e, por isso, deve ser muito bem otimizada para cada polpa. Vuorinen *et al.* (Vuorinen, T.; Burchert,

J.; Teleman, A.; Tenkanen, M.; Fagerstrom, P. Selective hydrolysis of hexenuronic acid groups and its application in ECF and TCF bleaching of kraft pulps. In: *International Pulp Bleaching Conference*, 1996, Washington, D.C. Proceedings. Washington, D.C.: Tappi, v. 1, 1996, p. 43-51) relatam que a remoção dos ácidos hexenurônicos aumenta com a redução do pH, atingindo um nível máximo em pH 3,0 (considerado a melhor eficiência). Neste nível de pH podem ser atingidas máxima eficiência (30–50% de redução dos ácidos hexenurônicos) e seletividade (maior rendimento e menor perda de viscosidade) nas seguintes condições de tempo e temperatura: 1º) 100 °C e 70 minutos; 2º) 95 °C e 120 minutos; e 3º) 90 °C e 180 minutos (Henricson, K. A_{HL} Stage – A new bleaching stage for kappa reduction and metal profile control. In: *International Emerging Technologies Conference And Exhibition*, 1997, Orlando. Proceedings. Orlando, p. 9-13, 1997).

[013] Silva [Silva, M. R. *Estudo laboratorial e industrial do estágio de hidrólise ácida no branqueamento de polpa kraft de eucalipto*. 2001. 120f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa- MG] otimizou o estágio ácido para polpa kraft de eucalipto e concluiu que as condições ideais para operar esse estágio são temperatura de 95 °C, pH 3,0 e tempo de reação de 120 minutos.

[014] O uso de um estágio de hidrólise ácida antes do branqueamento pode reduzir o número kappa em até 50%, resultando em redução da demanda de reagentes químicos utilizados no branqueamento, tanto em sequências ECF, como TCF (totalmente livre de cloro) (Vuorinen, T.; Burchert, J.; Teleman, A.; Tenkanen, M.; Fagerstrom, P. Selective hydrolysis of hexenuronic acid groups and its application in ECF and TCF bleaching of Kraft pulps. In: *International Pulp Bleaching Conference*, 1996, Washington, D.C. Proceedings. Washington, D.C.: Tappi, v. 1, 1996, p. 43-51). Além disso, o estágio ácido tem potencial para elevar o teto e a estabilidade de alvura da polpa branqueada. A economia de reagentes

químicos pode ser significativa, como em estudos conduzidos por Frossard [Frossard, V. A. Fechamento de circuito dos efluentes na planta de branqueamento. 2003. 64f. Monografia (Especialização *Latu Sensu* em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG], o qual confirma que a remoção de ácido hexenurônico da polpa antes do branqueamento ECF de polpas de fibra curta tem impacto significativo no consumo de dióxido de cloro, além de facilitar a remoção, em certa extensão, de metais de transição (Mn, Cu, Fe, Co, entre outros) que estão ligados aos ácidos hexenurônicos. Esta é a principal vantagem de incluir um estágio ácido no branqueamento, particularmente em unidades industriais com limitações na capacidade geradora de dióxido de cloro.

[015] O estado da técnica descreve métodos de clareamento da polpa de celulose, tal como o documento BR0600771 que descreve métodos de tratamento químico de polpa de celulose com um único estágio de branqueamento da polpa através de um tratamento ácido, um tratamento de neutralização e um tratamento com dióxido de cloro.

[016] O documento BR0408171 descreve um método para branqueamento de polpa de celulose em uma primeira etapa utilizando dióxido de cloro de forma a prover a destruição eficiente de ácidos orgânicos indesejados enquanto que pode ser obtida uma viscosidade/resistência otimizada da polpa final branqueada com uma brancura de aproximadamente de 90% ISO.

[017] O documento US2002117276 descreve um método de branqueamento de celulose em que a solução de hidróxido de sódio e uma solução de peroxidissulfato são convertidas por hidrólise numa solução de ácido e utilizada como solução de branqueamento.

[018] O documento RU2413046 descreve um método que envolve o tratamento da celulose com ácido sulfúrico, em uma primeira etapa, após tratamento alcalino com oxigênio. No segundo passo, o branqueamento com peróxido é realizado em meio alcalino, na presença de um

estabilizador (sulfato demagnésio). A terceira etapa envolve o tratamento de celulose com dióxido de cloro e na quarta etapa a celulose é tratada com peróxido de hidrogénio em meio alcalino.

[019] O documento WO9535405 descreve um processo de deslignificação de polpa de celulose com peróxido em meio alcalino ou com oxigênio gasoso comprimido em meio alcalino e, eventualmente, neutralizada por lavagem, utilizando o dióxido de cloro, em que as suspensões de celulose são tratadas com um composto de peróxido em meio ácido antes da etapa de clareamento com dióxido de cloro.

[020] O documento GB751709 descreve um processo de clareamento de fibras de celulose com dióxido de cloro, em condições ácidas, com pH de 2,5 a 6, num aparelho cuja superfície exposta à solução de branqueamento é constituído por uma resina sintética baseada em um polímero ou copolímero de um composto de ácidoa crílico, em especial um éster de ácido acrílico ou ácido metacrílico.

[021] Portanto, a sequência típica de branqueamento de uma indústria de celulose compreende D_0 (E+P) D_1 D_2 , onde:

[022] D_0 é o primeiro estágio de branqueamento com dióxido de cloro, feito a 60 °C e 30 minutos de reação, em pH de 2,5 a 3,5;

[023] (E+P) é a extração alcalina com peróxido de hidrogênio, realizado a 70 °C, com tempo de reação de 60 minutos em pH 10,5;

[024] D_1 é o segundo estágio de dióxido de cloro da sequência, realizado a 70 °C e 180 minutos de reação, com pH 3,8;

[025] D_2 é o estágio final de branqueamento com dióxido de cloro, realizado a 70 °C e pH de 4,5 a 5,5.

[026] Com base na literatura técnica, o estágio de hidrólise ácida não resulta em ganho de alvura, mas reduz o número kappa da polpa de celulose, de forma que o processo de clareamento de celulose necessariamente deve contar com um estágio que aumente substancialmente a alvura da polpa.

[027] Dessa forma, é objeto da presente invenção um processo de branqueamento de celulose que atinge a alvura de 90% ISO utilizando uma quantidade menor de reagente de branqueamento e contando com três estágios de branqueamento, com o aumento do pH do estágio de branqueamento com dióxido de cloro devendo ser realizado após um estágio ácido ou um estágio com ozônio.

SUMÁRIO

[028] A invenção provê um aperfeiçoamento em processo de branqueamento de celulose e de produção de derivados de celulose com apenas três estágios de branqueamento: um primeiro estágio de hidrólise ácida, um segundo estágio de clareamento da polpa de celulose utilizando dióxido de cloro e um terceiro estágio de clareamento utilizando peróxido de hidrogênio.

[029] A invenção provê um aperfeiçoamento em processo de branqueamento de celulose e de produção de derivados de celulose que provê pequeno consumo de reagentes químicos.

[030] A invenção provê um aperfeiçoamento em processo de branqueamento de celulose e de produção de derivados de celulose que diminui o consumo de dióxido de cloro e de peróxido de hidrogênio para branquear celulose de eucalipto até 90% ISO de alvura.

[031] A invenção provê um aperfeiçoamento em processo de branqueamento de celulose e de produção de derivados de celulose onde a etapa de branqueamento com dióxido de cloro é realizada em pH acima de 5,0 e com tempo de 120 minutos, ao contrário dos processos convencionais com pH de 2,5 e tempo de 30 minutos.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[032] O processo de branqueamento de celulose prevê a introdução de novos parâmetros de branqueamento, necessitando de apenas três estágios de branqueamento e menor quantidade de reagentes que os processos descritos no estado da técnica.

[033] O processo de branqueamento de polpa de celulose, objeto da presente invenção, compreende uma sequência definida como A_{HT} D P, onde A_{HT} compreende o estágio de hidrólise ácida, D compreende o estágio de clareamento utilizando dióxido de cloro e P compreende o estágio de clareamento utilizando peróxido de hidrogênio.

[034] Previamente ao processo de clareamento, a polpa proveniente dos diferentes processos químicos de polpação é deslignificada com oxigênio em uma torre de branqueamento. Nesta etapa, uma parte de polpa de celulose é misturada a nove partes de uma solução que inclui 20 kg/t de hidróxido de sódio, 18 kg/t de oxigênio e água para completar a consistência de 10%.

[035] Esta mistura é mantida por cerca de uma hora, na temperatura de 98 °C e pressão de 600 kPa ou 6 atm. Findo o tempo de reação, a pressão na torre de branqueamento é aliviada e a polpa de celulose é lavada.

[036] No primeiro estágio de branqueamento da polpa de celulose - estágio de hidrólise ácida (A_{HT}), uma parte de polpa de celulose é misturada a nove partes de reagentes ácidos, por cerca de 2 horas, a uma temperatura de 98 °C e pH de 3,0.

[037] No segundo estágio do processo de clareamento (D), uma parte da polpa de celulose é misturada em nove partes de uma solução contendo dióxido de cloro e hidróxido de sódio, mantidos a uma temperatura de 70 °C, por cerca de 2 horas, com pH entre 5,0 a 5,5. Finda a reação, a polpa de celulose é lavada.

[038] No terceiro estágio do processo de clareamento (P), uma parte de polpa de celulose é misturada com nove partes de uma solução contendo peróxido de hidrogênio e hidróxido de sódio, à temperatura de 98 °C por cerca de 2 horas, sendo mantido o pH entre 10,5 a 11,0, com o ajuste de pH feito com hidróxido de sódio. Após, completado o tempo de reação, a polpa de celulose é lavada.

[039] Os resultados de alvura após os estágios de dioxidação com o pH final de 2,1 (Tabela 1) e de pH final 4,3 (Tabela 2) são, respectivamente, de 80,1 e 84,7% ISO. Esta diferença, alcançada apenas com aumento do pH final no estágio de dioxidação, refletiu na alvura final da sequência A_{HT}DP, atingindo alvuras de 89,9 e 90,1% ISO no estágio de peroxidação, com cargas de 6 e 9 kg/t, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 2.

[040] No estágio de peroxidação, após a alvura de 80,1 ser atingida no estágio de dioxidação com o pH de 2,1, as sequências de branqueamento não alcançaram a alvura final de 90% ISO, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Sequência A_{HT}DP de branqueamento da polpa de celulose com pH de 2,1 no estágio de clareamento (etapa D) e carga de peróxido de hidrogênio de 6 e 9 kg/t.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento			Estágios de Branqueamento		
	A _{HT}	D	P	A _{HT}	D	P
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min.	120	30	120	120	30	120
Temperatura, °C	95	70	95	95	70	95
Fator kappa	-	-	-	-	-	-
ClO ₂ como Cl ₂ , kg/t	-	20	-	-	20	-
H ₂ O ₂ , kg/t	-	-	6	-	-	9
NaOH, kg/t	-	-	10	-	-	10
H ₂ SO ₄ , kg/t	7,0	-	-	7,0	-	-
pH final	2,9	2,1	11,1	2,9	2,1	11,2
Consumo de reagentes, %	-	100%	100%	-	100%	100%
Alvura A.D., %ISO	66,0	80,1	87,8	66,0	80,1	88,7

Tabela 2: Sequência A_{HT}DP de branqueamento da polpa de celulose com pH de 4,3 no estágio de clareamento (etapa D) e carga de peróxido de hidrogênio de 6 e 9 kg/t.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento			Estágios de branqueamento		
	A _{HT}	D	P	A _{HT}	D	P
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Tempo, min.	120	120	120	120	120	120
Temperatura em °C	95	70	95	95	70	95
Fator Kappa	-	-	-	-	-	-
ClO ₂ como Cl ₂ , kg/t	-	20	-	-	20	-
H ₂ O ₂ , kg/t	-	-	6	-	-	9
NaOH, kg/t	-	6,5	10	-	6,5	10
H ₂ SO ₄ , kg/t	7,0	-	-	7,0	-	-
pH final	2,9	4,3	11,6	2,9	4,3	11,7
Consumo de Reagentes, %	-	100%	100%	-	100%	100%
Alvura A.D., %ISO	66,0	84,7	89,9	66,0	84,7	90,1

REIVINDICAÇÕES:

1. PROCESSO DE BRANQUEAMENTO DE CELULOSE E DE PRODUÇÃO DE DERIVADOS DE CELULOSE caracterizado por compreender a sequência $A_{HT}DP$ que inclui:
 - a) um primeiro estágio de branqueamento da polpa de celulose denominado hidrólise ácida (A_{HT}), onde uma parte de polpa de celulose é misturada a nove partes de reagentes ácidos, por cerca de 2 horas, a uma temperatura de 98 °C e pH de 3,0;
 - b) um segundo estágio do processo de clareamento (D) onde uma parte da polpa de celulose é misturada em nove partes de uma solução contendo dióxido de cloro e hidróxido de sódio, mantidos a uma temperatura de 70 °C, por cerca de 2 horas, com pH entre 5,0 a 5,5;
 - c) um terceiro estágio do processo de clareamento (P) onde uma parte de polpa de celulose é misturada com nove partes de uma solução contendo peróxido de hidrogênio e hidróxido de sódio, à temperatura de 98 °C por cerca de 2 horas, sendo mantido o pH entre 10,5 a 11,0.
2. PROCESSO DE BRANQUEAMENTO DE CELULOSE E DE PRODUÇÃO DE DERIVADOS DE CELULOSE, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de previamente ao processo de clareamento, a polpa de celulose ser deslignificada com oxigênio em uma torre de branqueamento.

RESUMO

PROCESSO DE BRANQUEAMENTO DE CELULOSE E DE PRODUÇÃO DE DERIVADOS DE CELULOSE

É descrito um processo de branqueamento de celulose e de produção de derivados de celulose que compreende a sequência $A_{HT}DP$, que inclui um primeiro estágio de branqueamento da polpa de celulose denominado hidrólise ácida (A_{HT}), onde uma parte de polpa de celulose é misturada a nove partes de reagentes ácidos, por cerca de 2 horas, a uma temperatura de 98 °C e pH de 3,0; um segundo estágio do processo de clareamento (D) onde uma parte da polpa de celulose é misturada em nove partes de uma solução contendo dióxido de cloro e hidróxido de sódio, mantidos a uma temperatura de 70 °C, por cerca de 2 horas, com pH entre 5,0 a 5,5; e um terceiro estágio do processo de clareamento (P) onde uma parte de polpa de celulose é misturada com nove partes de uma solução contendo peróxido de hidrogênio e hidróxido de sódio, à temperatura de 98 °C por cerca de 2 horas, sendo mantido o pH entre 10,5 a 11,0.