

JOSÉ MAURÍCIO LINO

**APERFEIÇOAMENTO DA DESLIGNIFICAÇÃO COM OXIGÊNIO E DO
BRANQUEAMENTO DE POLPA CELULÓSICA KRAFT DE EUCALIPTO PARA
DISSOLUÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

Lino, José Maurício, 1973-

L758a
2013

Aperfeiçoamento da deslignificação com oxigênio e do
branqueamento de polpa celulósica kraft de eucalipto para
dissolução / José Maurício Lino. – Viçosa, MG, 2013.

ix, 60 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Jorge Luiz Colodette.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 21-23.

1. Celulose. 2. Madeira - Produtos. 3. Polpa de madeira -
Branqueamento. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Florestal. Programa de
Pós-Graduação Mestrado Profissional em Tecnologia de
Celulose e Papel. II. Título.

CDD 22. ed. 634.98611

JOSÉ MAURÍCIO LINO

**APERFEIÇOAMENTO DA DESLIGNIFICAÇÃO COM OXIGÊNIO E DO
BRANQUEAMENTO DE POLPA CELULÓSICA KRAFT DE EUCALIPTO PARA
DISSOLUÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 13 de dezembro de 2013.

Rubens Chaves de Oliveira

Vanessa Lopes Silva

Jorge Luiz Colodette
(Orientador)

A Deus.

A minha mãe.

A minha filha Alice.

A minha esposa Angélica.

A meus irmãos Márcio e Marcilene.

AGRADECIMENTOS

À Deus, a Jesus Cristo e a Nossa Senhora Aparecida pela ajuda para vencer os obstáculos.

A minha família pelo apoio, principalmente a minha esposa Angélica e minha filha Alice.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Laboratório de Celulose e Papel.

Aos amigos, professores, estudantes e funcionários do Laboratório de Celulose e Papel.

Aos meus amigos Cássio, Fernando e meus amigos nativos.

Ao professor Jorge Luís Colodette, pelos os oito anos de trabalho juntos, e como meu orientador.

Ao professor Per Christian pelo incentivo e pelos ensinamentos.

Obrigado!

BIOGRAFIA

José Maurício Lino, filho de Francisco de Assis Lino e Maria da Glória Fialho Lino, nasceu em 01 de dezembro de 1971, em Viçosa, Minas Gerais.

Concluiu seu estudo fundamental na Escola Estadual Alice Loureiro e seu estudo médio na Escola Estadual Dr Raimundo Alves Torres.

Em, 1996, ingressou, por meio de concurso vestibular, no curso de Química da Universidade Federal de Viçosa, Graduando-se em 2001 em Licenciatura em Química, e Graduando-se em Bacharel em Química em 2002.

Trabalhou no Laboratório de Celulose e Papel de 2002 a 2013.

Em, 2011, ingressou no Programa de Pós Graduação do Departamento de Engenharia Florestal no Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose.

ÍNDICE

RESUMO.....	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAIS E MÉTODOS	2
2.1 Material	2
2.2 Métodos.....	3
2.2.1. Deslignificação com oxigênio – O.....	3
2.2.2. Deslignificação com dióxido de cloro - D	3
2.2.3. Deslignificação sequencial com dióxido de cloro e cloro - (DC).....	4
2.2.4. Extração alcalina com peróxido de hidrogênio - (EP).....	4
2.2.5. Extração alcalina com hipoclorito de sódio (EH).....	4
2.2.6. Branqueamento com dióxido de cloro (D)	5
2.2.7. Branqueamento com peróxido de hidrogênio (P).....	5
2.2.8. Estágio de quelação (Q)	5
2.2.9. Procedimentos Analíticos	6
3. RESULTADOS	6
3.1. Deslignificação com oxigênio das polpas marrons	6
3.2. Branqueamento ECF pelas sequências D(EP)D e D(EP)DP	9
3.3. Branqueamento convencional pelas sequências (DC)(EP)DP, (DC)(EH)DP, D(EH)DP, D(EH)DPQ.....	13
3.3.1. Branqueamento (DC)(EP)DP	14
3.3.2. Branqueamento D(EH)DP	15
3.3.3. Branqueamento (DC)(EH)DP.....	16
3.3.4. Branqueamento D(EP)DPQ e D(EH)DPQ	17
4. CONCLUSÕES.....	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
APÊNDICE	24

RESUMO

LINO, José Mauricio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2013. **Aperfeiçoamento da deslignificação com oxigênio e do branqueamento de polpa celulósica Kraft de eucalipto para dissolução.** Orientador: Jorge Luiz Colodette. Coorientadores: José Lívio Gomide e Luiz Cláudio de Almeida Barbosa.

A demanda na produção de polpa para dissolução ou polpa solúvel tem aumentado na última década e muitas fábricas de Celulose e Papel estão convertendo suas operações para produzir polpa para dissolução. Um dos fatores que diferencia a polpa para dissolução da polpa para fabricação de papéis é o seu alto teor de alfa celulose e baixos teores de hemiceluloses, lignina e cinzas. Além disso, polpa para dissolução apresenta baixa polidispersividade, elevada alvura e alta reatividade a reagentes químicos específicos. A quantidade e os diferentes tipos de hemiceluloses é a variação química mais significativa e tem um impacto na processabilidade e qualidade do produto final. Atualmente as técnicas para produção de polpa solúvel são: (1) pré-hidrólise kraft, que consiste em pré-hidrólise dos cavacos com água ou vapor antes do cozimento kraft, e (2) cozimento sulfito ácido. Em ambos os casos, hemiceluloses são despolimerizadas e solubilizadas, e é possível alcançar alto teor de alfa-celulose, sendo a cristalinidade também afetada. O Brasil possui um papel de destaque no cenário mundial de produção de polpa celulósica, destacando-se como o quarto maior produtor deste produto, no entanto, a produção de polpa para dissolução é ainda reduzida. Tendo em vista a demanda de mercado para polpa solúvel e pouco conhecimento relativo à sua produção a partir da madeira de eucalipto é que foi realizado este trabalho. O objetivo foi aperfeiçoar a deslignificação com oxigênio e o branqueamento de uma polpa pré-hidrólise kraft de *Eucalyptus spp.* por meio de sequências isentas de cloro elementar (ECF) e convencionais, visando obter polpa solúvel com os padrões de qualidade desejados pelo mercado. Os principais resultados desse trabalho foram: (1) o branqueamento de polpa solúvel (grau viscose) foi viável com sequências ECF ou convencionais, atingindo-se os padrões de qualidade exigidos para esse tipo de polpa, exceto pelo conteúdo mineral; (2) recomenda-se a deslignificação intensiva com oxigênio a fim de se ter flexibilidade no controle do número kappa e, especialmente da viscosidade da polpa; (3) o branqueamento da polpa solúvel é perfeitamente viável pela sequência ECF de três estágios D(EP)D, com a qual se consegue alvuras de 92% ISO; (4) a aplicação da sequência ECF de quatro estágios D(EP)DP pode ser interessante já que a etapa final de

peróxido permite abaixamento da viscosidade (pH final 10 e 11) e do nível de OX da polpa branqueada; (5) a aplicação da sequência convencional D(EH)DP produz resultados muito satisfatórios de branqueamento e de qualidade da polpa (ótimo controle de viscosidade pelo controle do pH final da etapa EH); (6) o uso de uma etapa quelante ao final do branqueamento, em sequências tais como D(EP)DPQ e D(EH)DPQ reduz significativamente os teores de cinzas, ferro e cálcio da polpa solúvel, porém essa etapa só é recomendada se o teor desses minerais estiverem acima dos limites desejáveis quando da operação industrial, já que ele não agrega qualquer outro valor; (7) não se recomenda o uso do cloro elementar no primeiro estágio de branqueamento em sequências tais como (DC)(EP)DP ou (DC)(EH)DP; e (8) nas sequências D(EH)DP e D(EH)DPQ não se recomenda operar o estágio D₀ em pH < 1,7 por resultar polpa com viscosidade abaixo do limite mínimo.

ABSTRACT

LINO, José Mauricio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2013. **Optimizing of oxygen delignification and conventional and bleaching of eucalyptus dissolving pulp**
Adviser: Jorge Luiz Colodette. Co-advisers: José Lívio Gomide and Luiz Cláudio de Almeida Barbosa.

The demand for the dissolving pulp production has increased in the last decade and many pulp mills are adjusting their operations to produce it. One important parameter which differentiates the dissolving pulp from paper pulp is its high content of alpha cellulose and low levels of hemicelluloses, lignin and ash. Moreover, dissolving pulp is also characterized by low polydispersity, high brightness and reactivity to chemical reagents specific. The amount and different types of hemicelluloses is the most significant chemical trait of such pulps and has an impact on processability and final product quality. Currently, techniques for the production of soluble pulp are: (1) prehydrolysis kraft, which consists of chips prehydrolysis with water or steam before of the kraft cooking, and (2) acid sulphite cooking. In both cases, hemicelluloses are solubilized and depolymerized, and it is possible to achieve high content of alpha cellulose, being the crystallinity also affected. Brazil has a huge potential for pulp paper production, being the fourth largest producer in the world; however, the production of dissolving pulp is limited. The demand for dissolving pulp is growing and the knowledge regarding its production from eucalypt is scarce. This work aimed at optimzing the oxygen delignification and bleaching steps for a prehydrolysis kraft dissolving pulp from *Eucalyptus spp.* using elemental chlorine free (ECF) and conventional sequences, to attain desirable market qualities. The main findings of this work were: (1) dissolving pulp bleaching (viscose grade) was feasible by using conventional and ECF sequences, reaching the quality required for this type of pulp, except for mineral content, (2) it is recommended the intensive oxygen delignification in order to have flexibility in controlling the kappa number and especially the pulp viscosity; (3) the dissolving pulp bleaching sequence is perfectly feasible using a ECF sequence with three stages, D(EP)D, which achieved 92% ISO of brightness; (4) using the ECF sequence with the four stage D(EP)DP, may be interesting due to the final peroxidation which deliver a lower viscosity (final pH 10), and low OX level of the bleached pulp; (5) the application of the conventional sequence D(EH)DP produced very satisfactory bleaching results, and good pulp quality (excellent viscosity control by controlling the final pH of the (EH) stage; (6) the use of a chelation stage at the end of the bleaching, in sequences such as D(EP)DPQ and D(EH)DPQ reduced the ash, iron and calcium

pulp content, but this step is only recommended if the concentration of these minerals are out of the specification for the dissolving pulp; (7) it is not recommend the use of elemental chlorine in the first stage of bleaching sequences such as (DC)(EP)DP or (DC)(EH)DP; and (8) in the sequences D(EH)DP e D(EH)DPQ it is not recommend operating the D₀ stage at pH < 1.7 due to the pulp quality fall under the limit.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é hoje o quarto maior produtor de polpa celulósica kraft do mundo. Porém, quando se trata da produção de celulose kraft branqueada de Eucalipto, o Brasil passa a ser o maior produtor mundial desse produto. A indústria de celulose e papel exerce uma função de destaque no cenário econômico do Brasil. Por exemplo, as exportações do setor no ano de 2012 foram da ordem de 6,7 bilhões de dólares, o que gerou um saldo comercial positivo de 4,7 bilhões de dólares, tendo ainda o setor pago em impostos no mesmo período cerca de 3,5 bilhões de reais. Sendo ainda atribuída ao setor a geração de 128 mil empregos diretos (indústria 77 mil, florestas 51 mil) e 640 mil empregos indiretos segundo dados da Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA, 2013). Essa indústria apresenta como característica uma alta competitividade em escala global e sempre direciona as suas características produtivas de acordo com as necessidades e exigências do mercado.

Nesse contexto, é notório que a demanda mundial de um tipo especial de polpa celulósica, chamada comercialmente de polpa solúvel, vem crescendo expressivamente na última década. A demanda crescente desse tipo de produto no mercado pode ser atribuída a um crescimento consistente da produção de polpa celulósica, em grande parte iniciado por uma demanda crescente na China e outros países asiáticos além de um declínio na demanda por papéis de impressão e escrita no mundo, decorrente da dependência crescente dos meios eletrônicos. Estudos de mercado indicam que esta tendência de aumento da demanda por polpa celulósica regenerada e polpa solúvel, assim, vão prevalecer durante as próximas décadas.

A polpa solúvel é uma polpa celulósica especial destinada a conversões químicas, como, por exemplo, o “rayon”, para aplicações têxteis, o celofane e os derivados celulósicos, como acetato e nitrocelulose (BATALHA et al., 2012). Cada uma dessas aplicações requer especificações diferentes: pureza, viscosidade, alvura, densidade e teor de cinzas.

O processo mais utilizado para produção de polpa para dissolução é o processo Kraft. No processo kraft é utilizada uma etapa de autohidrólise denominada pré-hidrólise Kraft (LIU et al. 2010). A introdução da etapa de autohidrólise antes de qualquer processo de polpação ajuda na produção de polpa com alto conteúdo de alfa-celulose e baixo conteúdo de hemiceluloses, resultado da destruição ou degradação das hemiceluloses (BEHIN e

ZEYGHAMI, 2009). O rendimento global da linha de fibras de polpas para dissolução raramente ultrapassa 30-35% e em comparação com polpa celulósica Kraft convencional, também, os seus custos de produção são bastante elevados (BATALHA et al., 2012). Estas polpas devem conter um teor de alfa-celulose elevado (95-98%), teor de hemiceluloses relativamente baixo (1-10%) e um teor de lignina (<0,05%) (CHRISTOV et al. 1998). Polpas destinadas para viscose devem conter um conteúdo mineral (<0,1%) (Sixta, 2006).

O objetivo principal desse trabalho foi aperfeiçoar a deslignificação com oxigênio e do branqueamento de polpa celulósica Kraft de eucalipto para dissolução, visando obter um material com as especificações de qualidade desejadas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Material

Foi utilizado nesse estudo uma polpa celulósica marron pré-hidrolizada de eucalipto, coletada após o processo de polpação, oriunda de uma empresa nacional do Setor de Celulose e Papel destinada a produção de polpa para dissolução. A caracterização dessa amostra é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização físico-química da polpa marrom utilizada no estudo.

Parâmetro	Valor Médio para Amostra
Alvura, % ISO	40,9
Viscosidade, dm ³ /kg	1158
Número Kappa	9,3
Xilanas, %	2,54
Pentosanas, %	2,42
S10, %	3,97
S18, %	3,40
α-celulose, %	95,8

2.2 Métodos

A amostra de polpa marrom foi caracterizada físico-quimicamente conforme metodologia descrita na Tabela 1. Foram realizados estudos de aperfeiçoamento da deslignificação com oxigênio avaliando-se três níveis de temperatura (95, 100 e 105°C), três dosagens de álcali (16, 19 e 22 kg NaOH/tas polpa) e dois tempos de reação (60 e 75 min), objetivando-se obter número kappa de 3,0-3,5 após essa etapa. As sequências de branqueamento D(EP)D, (DC)(EP)DP, D(EP)DP, D(EP)DPQ, (DC)(EH)DP, D(EH)DP e D(EH)DPQ foram também aperfeiçoadas, visando-se a obtenção de alvura maior que 90% ISO, viscosidade na faixa de 430 – 530 dm³/kg e níveis aceitáveis de minerais. Os procedimentos adotados nesse estudo são apresentados abaixo:

2.2.1. Deslignificação com oxigênio – O

Esta etapa foi efetuada num reator/misturador modelo Mark V (Quantum Technologies Inc.) com amostras de 300 gramas de polpa absolutamente secas. A polpa foi depositada no reator na consistência adequada e aquecida até a temperatura desejada. Atingida a temperatura, e sob efeito de agitação constante, foram injetadas as cargas preestabelecidas de NaOH ao sistema, elevando-se a pressão de reação com O₂ até o valor desejado e completando-se com nitrogênio para atingir a pressão desejada. Terminada a reação, extraiu as amostras do licor residual, para análises de pH. A polpa foi transferida para o descarregador de polpa e então lavada com o equivalente 9 m³ de água destilada por tonelada de polpa seca. Esta etapa foi efetuada com duas repetições. Sendo que após a pré-O₂ foram avaliados o número kappa, viscosidade e alvura da polpa e eficiência, seletividade e rendimento do processo.

2.2.2. Deslignificação com dióxido de cloro - D

Este estágio foi efetuado em sacos de polietileno com amostras de 280 g a.s. de polpa. O licor de branqueamento contendo ClO₂, H₂O e H₂SO₄ foi adicionado à polpa em temperatura ambiente. Após mistura manual, a amostra foi pré-aquecida em forno de microondas e transferida para um banho de vapor termostaticado, onde foi mantido à temperatura constante pelo tempo pré-estabelecido. Terminada a reação, foram coletadas amostras de licor residual para análises de pH e residual de dióxido de cloro, e a polpa lavada

com o equivalente a 9m^3 de água destilada por tonelada de polpa seca. Esta etapa foi realizada com duas repetições.

2.2.3. Deslignificação sequencial com dióxido de cloro e cloro - (DC)

Este estágio foi efetuado em sacos de polietileno com amostras de 280 g a.s. de polpa absolutamente secas. O licor de branqueamento contendo ClO_2 e H_2O foi adicionado à polpa em temperatura ambiente, sendo que o cloro elementar foi adicionado à polpa 30 segundos depois, na forma de água de cloro, também à temperatura ambiente. Após mistura manual, a amostra foi pré-aquecida em forno de microondas e transferida para um banho de vapor termostaticado, onde foi mantido à temperatura constante pelo tempo pré-estabelecido. Terminada a reação, foram coletadas amostras de licor residual para análises de pH e residual de dióxido de cloro, e a polpa lavada com o equivalente a 9m^3 de água destilada por tonelada de polpa seca. Esta etapa foi realizada com duas repetições.

2.2.4. Extração alcalina com peróxido de hidrogênio - (EP)

Este estágio foi efetuado em sacos de polietileno com amostras de 270g de polpa absolutamente secas. O licor de branqueamento contendo H_2O_2 , NaOH e H_2O foi adicionado à polpa em temperatura ambiente. Após mistura manual, a amostra foi pré-aquecida em forno de microondas e transferida para um banho de vapor termostaticado, onde foi mantido à temperatura constante pelo tempo pré-estabelecido. Terminada a reação, foram coletadas amostras de licor residual para análises de pH e residual de dióxido de cloro, e a polpa lavada com o equivalente a 9m^3 de água destilada por tonelada de polpa seca. Esta etapa foi realizada com duas repetições.

2.2.5. Extração alcalina com hipoclorito de sódio (EH)

Este estágio foi efetuado em sacos de polietileno com amostras de 100g de polpa absolutamente secas. O licor de branqueamento contendo NaClO e H_2O foi adicionado à polpa em temperatura ambiente; foi utilizado NaOH ou H_2SO_4 para controle do pH, dependendo da necessidade. Após mistura manual, a amostra foi pré-aquecida em forno de microondas e transferida para um banho de vapor termostaticado, onde foi mantido à temperatura constante pelo tempo pré-estabelecido. Terminada a reação, foram coletadas amostras de licor residual para análises de pH e residual de dióxido de cloro, e a polpa lavada

com o equivalente a 9m^3 de água destilada por tonelada de polpa seca. Esta etapa foi realizada com duas repetições.

2.2.6. Branqueamento com dióxido de cloro (D)

Este estágio foi efetuado em sacos de polietileno com amostras de 80 gramas de polpa absolutamente secas. O licor de branqueamento contendo ClO_2 e H_2O foi adicionado à polpa em temperatura ambiente; foi utilizado NaOH ou H_2SO_4 para controle do pH, dependendo da necessidade. Após mistura manual, a amostra foi pré-aquecida em forno de microondas até a temperatura desejada e transferida para um banho de vapor termostatizado. Terminada a reação, foram coletadas amostras de licor residual para análises de pH e residual de dióxido de cloro, e a polpa foi então lavada com o equivalente a 9m^3 de água destilada por tonelada de polpa seca. Esta etapa foi realizada com duas repetições.

2.2.7. Branqueamento com peróxido de hidrogênio (P)

O branqueamento com peróxido de hidrogênio foi efetuado em sacos de polietileno com amostras de 60 gramas de polpa absolutamente seca. O licor de branqueamento contendo H_2O_2 , NaOH e H_2O foi adicionado à polpa em temperatura ambiente. Após mistura manual, a amostra foi pré-aquecida em forno de microondas até a temperatura desejada e transferida para um banho de vapor termostatizado. Terminada a reação, foram coletadas amostras de licor residual para análises de pH e residual de dióxido de cloro, e a polpa foi então lavada com o equivalente a 9m^3 de água destilada por tonelada de polpa seca. Esta etapa foi realizada com duas repetições.

2.2.8. Estágio de quelação (Q)

O estágio com o quelante EDTA foi efetuado em sacos de polietileno com amostras de 30 gramas de polpa absolutamente seca. O licor de branqueamento contendo H_2O , EDTA e H_2SO_4 foram adicionados à polpa em temperatura ambiente. Após mistura manual, a amostra foi pré-aquecida em forno de microondas até a temperatura desejada e transferida para um banho de vapor termostatizado. Terminada a reação, foram coletadas amostras de licor residual para análises de pH e residual de dióxido de cloro, e a polpa foi então lavada com o equivalente a 9m^3 de água destilada por tonelada de polpa seca. Esta etapa foi realizada com duas repetições.

2.2.9. Procedimentos Analíticos

Os procedimentos analíticos a serem empregados para caracterização das amostras estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Procedimentos analíticos utilizados.

Parâmetros da Polpa e Licores	Procedimento
Número kappa	TAPPI T236 cm-85
Viscosidade	SCAN-CM 15:99
Alvura	TAPPI T 525 om-86
Reversão de alvura	TAPPI UM 200 (4h, 105 °C, 0% UR, após acondicionamento das folhas por 4 h em sala climatizada)
Titulação de soluções e residuais de branqueamento	Kraft, P., In: Pulp & Paper Manufacture, Vol. 1, McDonald, R.G. (editor), 2 nd ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1967, p. 628-725
Teor de xilanas	HPLC – Método Wallis <i>et al.</i> (1996) depois da hidrólise ácida de acordo com TAPPI T249 cm-85
Teor de pentosanas	ABCP C 8/70
Alfa-celulose	TAPPI 203 om-93
S10 e S18	TAPPI 235 cm-85
Extrativos solúveis em DCM	TAPPI 204 os-76
Metais	TAPPI 266 om-94
Sílica	TAPPI 245 om-94
OX	Scan W 9:89

3. RESULTADOS

Todos os experimentos foram realizados em duplicata e as tabelas com resultados completos são apresentados no Apêndice A, B, C e D. Para a discussão dos resultados neste artigo serão utilizados as médias dos mesmos.

3.1. Deslignificação com oxigênio das polpas marrons

Nas Figuras 1 a 3, são apresentados os resultados do estudo de aperfeiçoamento do estágio de deslignificação com oxigênio (Pré-O₂) no que tange ao ganho de alvura, perda de viscosidade da polpa e eficiência do processo pelo estudo das dosagens alcalinas e temperatura de reação. Objetivando-se aperfeiçoamento do estágio Pré-O₂ visando à produção de polpa solúvel, parâmetros como alto ganho de alvura, eficiência deslignificação e perda de viscosidade devem ser os direcionadores para obtenção das condições ideais de operação deste estágio. A alta eficiência de deslignificação durante o estagio Pré-O₂, pode resultar em economia de reagentes durante o processo de branqueamento (GOMES, 2010), consequentemente minimizando os custos de processo. Também nesse sentido, uma queda na viscosidade da

polpa durante essa etapa é desejável e faz com que estágios de branqueamento posteriores não sejam utilizados com esse intuito.

No que diz respeito à viscosidade, polpas solúveis, possuem faixas ideais segundo a sua destinação final, por exemplo, para acetatos de celulose a faixa de viscosidade ideal esta entre 500 e 700 dm^3/kg , já para produção de viscose 430 a 530 dm^3/kg (SIXTA, 2000). Os resultados obtidos nesse estudo mostram que o aumento da temperatura e da dosagem de NaOH tem efeito positivo no ganho de alvura, eficiência de deslignificação e queda da viscosidade. Desta forma, a condição em que foi usado 22 kg/tas de NaOH à temperatura de 105°C é a melhor, nomeada como condição aperfeiçoada, visto que proporcionou o maior ganho de alvura (16,2 % ISO), maior eficiência (63,4 %) e maior queda na viscosidade (333 dm^3/kg), como mostra as Figuras 1-3 e a Tabela 3.

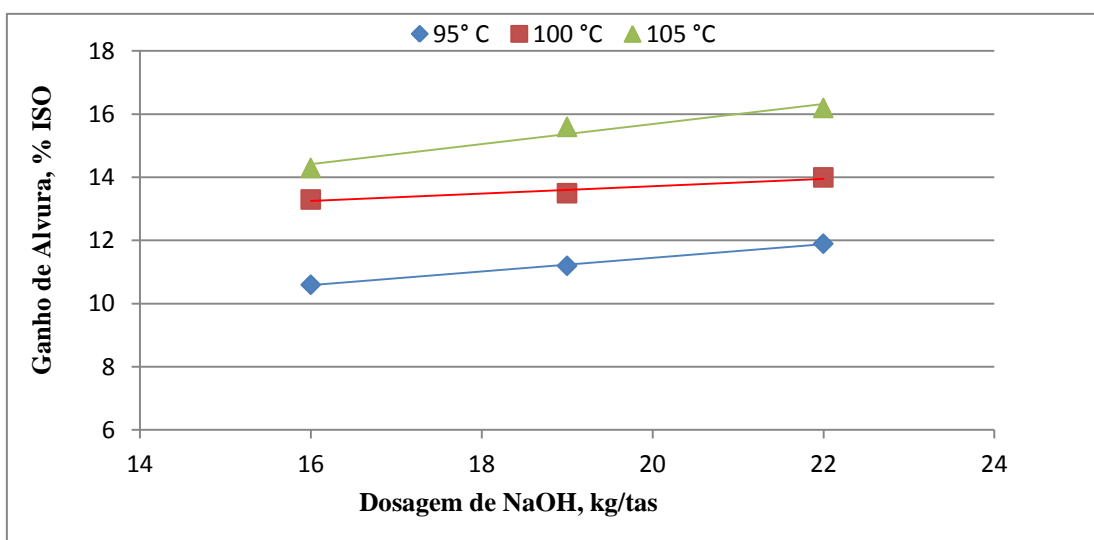


Figura 1. Efeito da temperatura e da dosagem alcalina no ganho de alvura da deslignificação com oxigênio das polpas. As condições de tempo, pressão de reação, consistência e dosagem de oxigênio foram de 60 minutos, 600 kPa, 10% e 18 kg O_2 /tas, respectivamente.

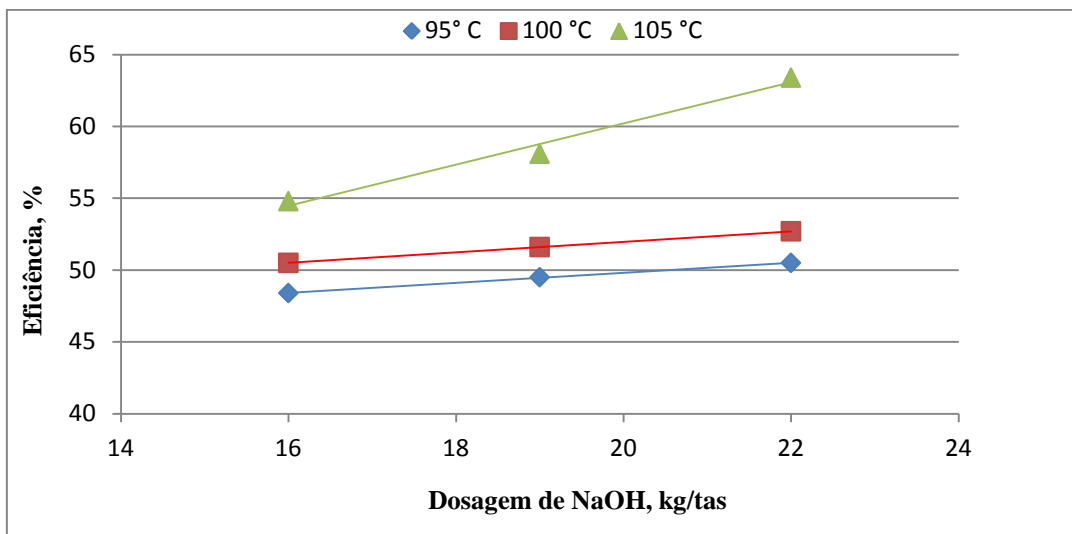


Figura 2. Efeito da temperatura e da dosagem alcalina na eficiência (Δ Kappa, %) da deslignificação com oxigênio. As condições de tempo, pressão de reação, consistência e dosagem de oxigênio foram de 60 minutos, 600 kPa, 10% e 18 kg O₂/tas, respectivamente.

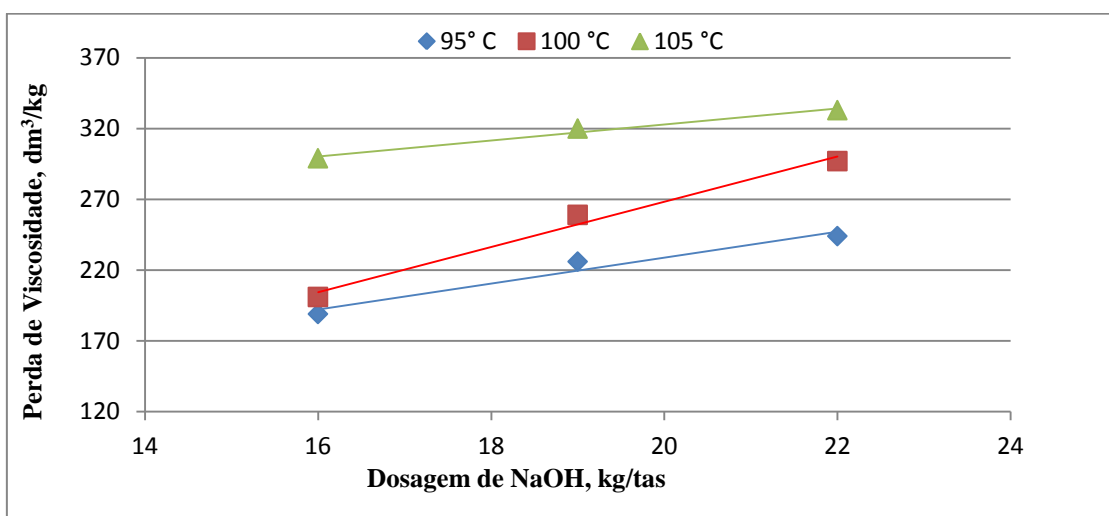


Figura 3. Efeito da temperatura e da dosagem alcalina na perda de viscosidade da deslignificação com oxigênio. As condições de tempo, pressão de reação, consistência e dosagem de oxigênio foram de 60 minutos, 600 kPa, 10% e 18 kg O₂/tas, respectivamente.

Tabela 3. Resultados da deslignificação com oxigênio para a condição aperfeiçoada. As condições e os resultados obtidos nos tratamentos de deslignificação com oxigênio, realizados em duplicata, são apresentados nos Quadros 1A do Apêndice A.

Parâmetro	Pré-O2 Condição aperfeiçoada
Tempo, min	60
pH Final	11,6
Número Kappa	3,3
Alvura, % ISO	57
Viscosidade, dm ³ /kg	825
Perda de viscosidade, dm ³ /kg	333
Eficiência, %	63,4
Ganho de alvura, % ISO	16,2

Condições Pré-O₂: 22 kg/tas de NaOH, 105°C, 600 kPa, 10% de consistência e 18 kg/tas O₂.

3.2. Branqueamento ECF pelas sequências D(EP)D e D(EP)DP

Para o aperfeiçoamento da sequência D(EP)D, foi realizado um estudo de distribuição da carga de dióxido utilizada entre os estágios D₀ e D₁. Os resultados desta otimização estão apresentados na Tabela 4. Foram utilizados três níveis de fatores kappa diferentes no estágio D₀ e três diferentes dosagens de dióxido cloro no estágio D₁, de forma que as cargas totais de cloro ativo aplicadas na sequência fossem idênticas, independentemente do fator kappa empregado. Observou-se que a condição ideal (Tratamento 8) foi aquela que apresentou uma alvura final de 622 % ISO, com o menor consumo de cloro ativo total, (18 kg/tas de cloro ativo no estágio D₀ e 4 kg/tas de cloro ativo no estágio D₁).

Tabela 4. Resultados da otimização da distribuição das cargas de dióxido de cloro entre estágios Do e D1, no branqueamento da polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada conforme (Tabela 3) com a sequência D(EP)D. As condições e os resultados obtidos por estágio de branqueamento, realizados em duplicata, são apresentados nos Quadros 1B-9B do Apêndice B.

Parâmetros de Branqueamento	Distribuição da dosagem de ClO ₂ entre estágios Do e D ₁ na sequência D(EP)D								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nº do Tratamento									
Dosagem de ClO ₂ em Do, kg/tas como cloro	10	10	10	14	14	14	16	18	18
Dosagem de ClO ₂ em D ₁ , kg/tas como cloro	8	12	16	4	8	12	2	4	8
Dosagem de ClO ₂ total, kg/tas como cloro	18	22	26	18	22	26	18	22	26
Alvura Final, % ISO	91,1	91,6	91,5	91,5	91,9	92,3	91,8	92,2	92,2
Viscosidade Final, dm ³ /kg	646	627	619	639	645	630	661	622	632

Embora tenham sido obtidas alvuras muito satisfatórias, independentemente da distribuição do dióxido de cloro na sequência D(EP)D, os valores de viscosidades finais das polpas ficaram acima do desejável (430 – 530 dm³/kg) para uso da polpa solúvel na produção de viscase.

Por isso, foi avaliada a aplicação de um estágio adicional de peróxido de hidrogênio como último estágio de branqueamento, convertendo-se a sequência D(EP)D (Tratamento 8) em D(EP)DP. Foi possível observar na Tabela 5 que mesmo com a redução da viscosidade, esta ainda não tinha atingido o grau para viscase.

Tabela 5. Resultados do branqueamento da polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3) pela sequência D(EP)DP. As condições e os resultados obtidos por estágio de branqueamento, realizados em duplicata, são apresentados nos Quadros 1C do Apêndice C.

Parâmetro	Valor Médio para Sequência D(EP)DP
No. Kappa marrom	9,3
Número Kappa pós-estágio O	3,4
ClO ₂ como Cl ₂ , kg/tas	22,0
H ₂ O ₂ , kg/tas	6,0
NaOH, kg/tas	13,0
H ₂ SO ₄ , kg/tas	1,30
Cloro Ativo Total (CAT), kg/tas*	34,5
Alvura, % ISO	92,6
Reversão de Alvura, % ISO	1,7
Número Kappa final	0,16
Viscosidade final, dm ³ /kg	570
Xilanas, %	2,70
Pentosanas, %	2,54
Alfa-celulose, %	95,4
S10, %	4,6
S18, %	3,4
Extrativos solúveis em DCM, %	0,07
Cinzas, %	0,12
SiO ₂ , mg/kg	398
Fe, mg/kg	14,4
Ca, mg/kg	68,4
OX, mg/kg	50,0

*CAT= (ClO₂ (kg/tas)*2,63 + H₂O₂(kg/tas)*2,09

Uma vez que as temperaturas e dosagens alcalinas já estão bem próximas das condições consideradas ótimas para operação da Pré-O₂ encontradas na literatura (GOMES et al., 2010), para obter uma redução da viscosidade ainda mais significativa na Pré-O₂, investigou-se o aumento do tempo de reação de 60 minutos para 75 minutos para a condição considerada ótima (105°C; e 22kg/tas de NaOH). O tratamento em que se aumentou o tempo de reação foi chamado nesse trabalho de condição intensiva, apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados da investigação do aumento do tempo de reação da deslignificação com oxigênio. As condições e os resultados obtidos nos tratamentos de deslignificação com oxigênio, realizados em duplicata, são apresentados nos Quadros 1A do Apêndice A.

Parâmetro	Pré-O₂ Condição intensiva
Tempo, min	75
pH Final	11,2
Número Kappa	2,9
Alvura, % ISO	61,3
Perda de viscosidade, dm ³ /kg	406
Eficiência, %	67,7
Ganho de alvura, % ISO	20,3

Pré-O₂ condição intensiva: 22 kg/tas de NaOH, 105°C, 600 kPa, 10% de consistência e 18 kg/tas O₂.

Observou-se melhoria no ganho de alvura, eficiência de deslignificação e uma significativa redução na viscosidade (406 dm³/kg) para polpa submetida á condição intensiva da pré-O₂, como foi mostrada na tabela anterior.

A polpa pré-O₂ da condição intensiva foi submetida á mesma sequência D(EP)DP apresentando uma viscosidade final compatível com a requerida para as aplicações da polpa solúvel para viscose (505 dm³/kg) como mostrado na Tabela 7. Sendo, portanto, obtidas as seguintes condições como ideais para a operação da pré-O₂ para a sequencia D(EP)DP (75 minutos, 105°C, e 22 kg/tas de NaOH).

Tabela 7. Resultados do branqueamento pela sequência D(EP)DP usando polpa deslignificada com oxigênio na condição intensiva. As condições e os resultados obtidos por estágio de branqueamento, realizados em duplicata, são apresentados nos Quadros 3C do Apêndice C.

Parâmetro	Pré-O ₂ Condição Intensiva D(EP)DP
No. Kappa marrom	9,3
No. Kappa pós-estágio O	3,0
ClO ₂ como Cl ₂ , kg/tas	18,0
H ₂ O ₂ , kg/tas	6,0
NaOH, kg/tas	13,0
H ₂ SO ₄ , kg/tas	1,70
Cloro Ativo Total (CAT), kg/tas*	30,5
Alvura, % ISO	92,5
Reversão de Alvura, % ISO	1,6
No Kappa final	0,18
Viscosidade final, dm ³ /kg	505
Xilanas, %	2,68
Pentosanas, %	2,49
Alfa-celulose, %	95,6
S10, %	4,6
S18, %	3,4
Extrativos solúveis em DCM, %	0,06
Cinzas, %	0,11
SiO ₂ , mg/kg	368
Fe, mg/kg	14,8
Ca, mg/kg	64,3
OX, mg/kg	40,7

*CAT= (ClO₂ (kg/tas)*2,63 + H₂O₂(kg/tas)*2,09)

No que diz respeito às demais propriedades da polpa, estas não foram alteradas, exceto pela reversão de alvura e o teor de OX que melhoraram significativamente com a adoção do estágio final de peroxidacão. É reconhecido e amplamente documentado que o branqueamento com peróxido de hidrogênio em valores de pH final na faixa de 9-11 produz quantidades significativas de radicais do tipo hidroxila que é um potente oxidante da celulose. Tais radicais apresentam maior poder oxidante quando em valores mais baixos de pH (DENCE E REEVE,1996).

3.3. Branqueamento convencional pelas sequências (DC)(EP)DP, (DC)(EH)DP, D(EH)DP, D(EH)DPQ

O uso do cloro elementar no primeiro estágio de branqueamento pode ser útil para baixar o pH e melhorar a eficiência de remoção de HexA e, por conseguinte, diminuir o teor de minerais da polpa (EIRAS et al., 2003). Por outro lado o uso de hipoclorito no segundo estágio de branqueamento, por exemplo, na extração alcalina, facilita o controle da

viscosidade final (NAVARRO, 2004). Embora o uso do cloro elementar ou do hipoclorito no branqueamento descaracterize o chamado branqueamento ECF (Livre de Cloro Elementar - Elemental Chlorine Free), esses reagentes foram avaliados em pequenas dosagens, no intuito de verificar os seus impactos na qualidade da polpa e nos consumos de químicos durante o branqueamento de polpa solúvel.

3.3.1. Branqueamento (DC)(EP)DP

Os resultados completos do branqueamento pela sequência (DC)(EP)DP estão apresentados na Tabela 8. No aperfeiçoamento da sequência, foram avaliados dois níveis de pH final (10 e 11) no estágio P final usando a polpa da condição pré-O₂ aperfeiçoada. Comparativamente aos resultados obtidos pela sequência ECF D(EP)DP apresentado na Tabela 5, que resultou em alvura de 92,6% ISO e viscosidade de 570 dm³/kg, e agora a sequência convencional utilizando 1,7 kg/tas de Cl₂ no primeiro estágio (DC) e pH 11 no estágio P final resultou em pequena melhoria na alvura (92,8% ISO) e pequeno decréscimo da viscosidade (caindo para 523 dm³/kg). Quando o pH do estágio P final foi reduzido para 10, a alvura caiu para 92,6% ISO e a viscosidade para 518 dm³/kg.

Outro importante aspecto que deve ser levado em consideração oriundo do uso do cloro elementar no estágio (DC), foi o aumento do teor de OX da polpa de 50 mg Cl⁻/kg da sequência ECF D(EP)DP, para 67,4 mg Cl⁻/kg (P final pH 11) ou 69,2 mg Cl⁻/kg (P final pH 10) para as sequências com cloro. Nesse sentido, o uso do cloro elementar não parece justificável embora tenha contribuído para o decréscimo da viscosidade da polpa. Porém, parece mais viável baixar a viscosidade da polpa na deslignificação com oxigênio.

Tabela 8. Resultados do branqueamento da polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 4) pela sequências (DC)(EP)DP. As condições e os resultados obtidos por estágio de branqueamento, realizados em duplicata, são apresentados nos Quadros 4C-5C do Apêndice C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento					
	O	(DC)	(EP)	D	P (pH 11)	P (pH 10)
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	11,0	10,0
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105	105
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-	2	4
NaOH, kg/tas	22	-	10	-	3	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	-	0,50	-	-
Água clorada (Cl ₂), kg/tas	-	1,7	-	-	-	-
pH final	11,7	2,6	11,2	5,3	10,7	10,0
Reagente consumido, %	-	100	70,4	96,4	86,6	82,5
Número Kappa	3,4	-	0,60	-	0,17	0,16
Alvura, %	57,1	79,1	88,3	91,9	92,8	92,6
Reversão, %	-	-	-	-	1,8	1,8
Viscosidade, dm ³ /kg	825	712	602	554	523	518
OX, mg/kg	-	-	-	-	67,4	69,2

3.3.2. Branqueamento D(EH)DP

Tendo em vista a propriedade do hipoclorito de causar significativa redução da viscosidade durante o branqueamento da polpa (NAVARRO, 2004), foi avaliada a substituição do estágio (EP) da sequência a D(EP)DP por um estágio (EH), convertendo-a a sequência em D(EH)DP. Os resultados desse estudo estão apresentados na Tabela 9.

Foi possível observar que o uso do estágio (EH) em substituição ao (EP) tem efeito significativo na viscosidade da polpa. O estágio (EH) em pH 8,0 resultou numa viscosidade que pode ser considerada ótima para polpa solúvel destinada a produção de viscose. Adicionalmente, a extração realizada nestas condições não afetou negativamente o branqueamento, pois a alvura final desejada foi atingida sem aumento da dosagem de reagentes. Na condição ótima (EH em pH 8,0) todas as características da polpa solúvel foram adequadas, exceto pela propriedade de OX (64,5 mg Cl/kg polpa) que excedeu significativamente o valor obtido pela sequência ECF D(EP)DP apresentado na Tabela 5. Portanto, especial atenção deve ser dada ao estágio (EH), pois ele surge como opção desejável

e efetiva para o branqueamento de polpa solúvel, porém o teor de OX da polpa deve ser levado em consideração, pois este pode se tornar um parâmetro desclassificatório.

Tabela 9. Resultados do branqueamento da polpa designificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 4) em vários níveis de pH no estágio (EH). As condições e os resultados obtidos por estágio de branqueamento, realizados em duplicata, são apresentados nos Quadros 6C-10C do Apêndice C.

Parâmetro	pH do Estágio (EH)				
	8,0	8,0	9,0	10,0	11,0
pH final do estágio P final	10,0	11,0	10,0	10	10,0
No. Kappa marrom	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
No. Kappa pós-estágio O	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
ClO ₂ como Cl ₂ , kg/tas	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
O ₂ , kg/tas	18,0	18,0	0	18,0	0
H ₂ O ₂ , kg/tas	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
NaOH, kg/tas	4,9	5,9	5,3	7,0	8,5
H ₂ SO ₄ , kg/tas	0,80	0,80	0,8	0,80	0,80
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Cloro Ativo Total (CAT), kg/tas*	30,18	30,18	30,18	30,18	30,18
Alvura, % ISO	91,7	91,5	92,2	92,5	92,8
Reversão de Alvura, % ISO	2,0	1,9	2,2	2,2	2,0
Kappa	0,18	0,22	0,31	0,21	0,24
Viscosidade final, dm ³ /kg	490	505	513	520	555
Teor de xilanas, %	2,72	-	-	-	-
Pentosanas, %	2,53	-	-	-	-
Alfa-celulose, %	95,0	-	-	-	-
S10, %	3,93	-	-	-	-
S18, %	3,93	-	-	-	-
Extrativos solúveis em DCM, %	0,09	-	-	-	-
Cinzas, %	0,11	-	-	-	-
SiO ₂ , mg/kg	405	-	-	-	-
Fe, mg/kg	15,6	-	-	-	-
Ca, mg/kg	58,7	-	-	-	-
OX, mg/kg	64,5	-	-	-	-

*CAT= (ClO₂ (kg/tas)*2,63 + H₂O₂(kg/tas)*2,09)

3.3.3. Branqueamento (DC)(EH)DP

Tendo em vista as propriedades dos reagentes a base de cloro em remover (ácido hexenurônico)/(lignina condensada) e reduzir a viscosidade da polpa (EIRAS et al, 2003), foram avaliados os estágios (DC) e (EH) em substituição aos estágios D₀ e (EP) da sequência D(EP)DP, convertendo-a em uma sequência (DC)(EH)DP. Os resultados completos desse estudo estão apresentados na Tabela 10.

A análise dos resultados indicou que o estágio (EH) em substituição ao (EP) tem efeito significativo na redução da viscosidade da polpa. Por outro lado, o uso da água clorada no

estágio (DC) não traz benefícios significativos no que tange a melhoria do branqueamento pela potencial remoção de HexA/lignina condensada. Portanto o uso da água clorada deve ser evitado, porém o estágio (EH) é uma boa alternativa para controle de viscosidade.

Tabela 10. Resultados do branqueamento da polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 4) pela sequência (DC)(EH)DP, sendo o estágio (EH) realizado em vários valores de pH final. As condições e os resultados obtidos por estágio de branqueamento, realizados em duplicata, são apresentados nos Quadros 11C-13C do Apêndice C.

Condições e Resultados	Estágio de branqueamentos										
			(EH) em pH 9,0			(EH) em PH 10,0			(EH) em pH 11,0		
	O	DC	(EH)	D	P	(EH)	D	P	(EH)	D	P
pH final do estágio P	-	-	-	-	9,0	-	-	10	-	-	9,0
Consistência, %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105	105	210	105	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-	-	4	-	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	2	-	-	2	-	-	2
NaClO (como Cl ₂), kg/tas	-	-	4	-	-	4	-	-	4	-	-
NaOH, kg/tas	22	-	2,5	-	4,0	4,0	-	2,0	5,5	-	1,5
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	-	0,1	-	-	0,3	-	-	0,4	-
pH Final	11,7	2,6	8,8	5,6	10,9	10,2	5,0	10,0	10,7	5,3	9,1
Reagente Cons. ,%	-	100	100	94,6	69,4	100	88,0	82,6	100	88,0	58,3
Número Kappa	3,4	-	0,48	-	0,25	0,50	-	0,35	0,58	-	0,43
Alvura, % ISO	57,1	79,1	88,1	91,5	92,2	88,2	91,9	92,5	86,6	92,0	92,4
Reversão, % ISO	-	-	-	-	2,5	-	-	2,4	-	-	2,4
Viscosidade , dm ³ /kg	825	712	531	503	487	564	541	512	618	575	542

3.3.4. Branqueamento D(EP)DPQ e D(EH)DPQ

Os estudos anteriores indicaram ser possível produzir polpa solúvel branqueada de alta qualidade utilizando-se sequências tais como OD(EP)DP e OD(EH)DP. Porém, os teores de minerais das polpas branqueadas (cinzas, sílica, ferro e cálcio) ficaram acima do requerido para produção de polpa solúvel em todos os casos (BATALHA et al., 2012). Por isso, avaliou-

se um estágio de quelação como última etapa do branqueamento. Adicionalmente, o pH do estágio D₀ foi reduzido dos tradicionais 2,5-3,0 para 1,7. Os resultados completos desse estudo estão mostrados na Tabela 11.

Um aspecto relevante que pode ser verificado são os teores elevados de cinzas, ferro, cálcio e sílica das polpas branqueada pelas sequencias D(EP)DP e D(EH)DP. Em ambos os casos, os valores obtidos para esses minerais estão acima das especificações para polpa solúvel que exige valores menores que 0,1% de cinzas e menores que 5, 50 e 50 mg/kg de polpa de ferro, cálcio e sílica, respectivamente (BATALHA et al., 2012). Numa tentativa de baixar os teores desses minerais na polpa branqueada, foi introduzido um estágio adicional de quelação ao final das sequências D(EP)DP e D(EH)DP, convertendo-as em D(EP)DPQ e D(EH)DPQ. Verifica-se que o estágio quelante não afeta de maneira significativa a maioria das propriedades da polpa, porém teve efeito substancial nos seus teores de ferro, cálcio e cinzas, de forma reduzi-los em 30, 40 e 17%, respectivamente. Porém, o teor de sílica da polpa não foi alterado grandemente pelo estágio de quelação, o que já era esperado um vez que a solubilização desse mineral depende de condições alcalinas (SONG et. al., 2011). Estes resultados apontam que o uso de quelação pode ser interessante para a remoção de metais da polpa.

A utilização do pH 1,7 no estágio D₀ teve efeito considerável nos teores de sílica, de cinzas e de cálcio da polpa. Porém a prática desse pH pode se revelar de alto custo dado o elevado consumo de H₂SO₄ para se atingir o referido pH. Por outro lado, a condição de extrema acidez na presença de ClO₂ (Cl₂ livre nesse pH) aliada ao longo tempo de reação à quente na etapa D₀ resultou polpa de baixíssima viscosidade, abaixo do limite mínimo aceitável para polpa solúvel. Portanto, a operação do estágio D₀ em pH 1,7 não é recomendado.

Tabela 11. Resultados do branqueamento da polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 4) pelas sequências D(EP)DP, D(EP)DPQ, D(EH)DPQ e D(EH)DPQ - Efeito do pH 1,7 no estágio D₀ na composição mineral da polpa. As condições e os resultados obtidos por estágio de branqueamento, realizados em duplicata, são apresentados nos Quadros 1D-5D do Apêndice D.

Parâmetro	Sequência D(EP)DP	Sequência D(EP)DPQ	Sequência D(EH)DP	Sequência D(EH)DP	Sequência D(EH)DPQ
pH do Estágio Do	2,5-3,0	2,5-3,0	2,5-3,0	1,7**	1,7**
No. Kappa marrom	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
No. Kappa pós-estágio O	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
ClO ₂ como Cl ₂ , kg/tas	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
O ₂ , kg/tas	0	0	0	0	0
H ₂ O ₂ , kg/tas	6,0	6,0	2,0	2,0	2,0
NaClO (como Cl ₂), kg/tas	-	-	4	4	4
NaOH, kg/tas	13,0	13,0	4,9	7,9	7,9
H ₂ SO ₄ , kg/tas	1,30	1,30	0,80	50,0	50,15
Cloro Ativo Total (CAT), kg/tas*	34,54	34,54	3,18	30,18	30,18
Alvura, % ISO	92,6	92,8	91,7	91,8	92,1
Reversão de Alvura, % ISO	1,7	1,5	2,0	1,4	1,4
No Kappa final	0,16	0,15	0,18	0,20	0,15
Viscosidade final, dm ³ /kg	570	567	490	288	283
Xilanas, %	2,70	2,72	2,72	-	-
Pentosanas, %	2,54	2,53	2,53	-	-
Alfa-celulose, %	95,4	95,3	95,0	-	-
S10, %	4,6	4,7	3,93	-	-
S18, %	3,4	3,5	3,93	-	-
Extrativos em DCM, %	0,07	0,07	0,09	-	-
Cinzas, %	0,12	0,10	0,11	0,08	0,08
SiO ₂ , mg/kg	398	395	405	389	365
Fe, mg/kg	14,4	10,1	15,6	13,8	9,9
Ca, mg/kg	68,4	41,3	58,7	12,7	8,6
OX, mg Cl ⁻ /kg	50,0	49,8	64,5	79,3	77,8

*CAT= (ClO₂ (kg/tas)*2,63 + H₂O₂(kg/tas)*2,09)

**visando reduzir a carga de ácido aplicada no estágio D₀ para atingir pH 1,7, simulou a recirculação de filtrados da fábrica, utilizando-se o filtrado do estágio D₁ para acidificar a polpa na entrada do estágio Do.

4. CONCLUSÕES

- O branqueamento de polpa solúvel (grau viscoso) foi viável com sequências ECF ou convencionais, atingindo-se os padrões de qualidade exigidos para esse tipo de polpa, exceto pelo conteúdo mineral;
- Recomenda-se a deslignificação intensiva com oxigênio se ter flexibilidade no controle do número kappa e, especialmente da viscosidade da polpa. As seguintes condições são sugeridas: 105° C, 75 min, 22 kg NaOH/tas, 18 kg O₂/tas, 10-12 % consistência e pressão 600 kPa;

- O branqueamento da polpa solúvel é perfeitamente viável pela sequência ECF de três estágios D(EP)D, com a qual se consegue alvuras de 92% ISO;
- A aplicação da sequência ECF de quatro estágios D(EP)DP pode ser interessante já que a etapa final de peróxido permite abaixamento da viscosidade (pH final 10) e do nível de OX da polpa branqueada, porém para polpa de viscose, será necessário que a condição da pré-O₂ seja mais intensa;
- A aplicação da sequência convencional D(EH)DP produz resultados muito satisfatórios de branqueamento e de qualidade da polpa (ótimo controle de viscosidade pelo controle do pH final da etapa EH); porém apresenta o inconveniente de aumentar o valor de OX da polpa em cerca de 15 mg Cl⁻/kg de polpa em relação à sequência D(EP)DP;
- O uso de uma etapa quelante ao final do branqueamento, em sequências tais como D(EP)DPQ e D(EH)DPQ reduz significativamente os teores de cinzas, ferro e cálcio da polpa solúvel, porém essa etapa só é recomendada se o teor desses minerais estiverem acima dos limites desejáveis quando da operação industrial, já que ele não agrega qualquer outro valor;
- Não se recomenda o uso do cloro elementar no primeiro estágio de branqueamento em sequências tais como (DC)(EP)DP ou (DC)(EH)DP;
- Para as sequências D(EH)DP e D(EH)DPQ não se recomenda operar no estágio D₀ em pH < 1,7 em razão da viscosidade da polpa cair abaixo do limite mínimo para polpa solúvel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEHIN, J.; AND ZEYGHAMI, M. (2009). **Dissolving pulp from corn stalk residue and wastewater of Meroxunit**. Chemical Engineering Journal 152, 26-35.
- CHRISTOV, L.P.; AKHTAR, M.; and PRIOR, B.A. (1998). **The potential of bisulfite pulping in dissolving pulp production**. Enzyme Microb.Technol.23, 70-74.
- COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; SALLES, D. V. C.; BRITO, A. S. C. H.; OLIVEIRA FILHO, A. C. **Deslignificação intensiva com oxigênio: uma alternativa para aumentar o rendimento da linha de fibra**. O Papel, v. 56, n. 9, p. 40-49,1995.
- COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, R.C.; GOMIDE, J.L. et al. **Novos processos para branqueamento de polpa kraft de eucalipto**. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 26, 1993, São Paulo. Anais... São Paulo: ABTCP, 1993. p.71-90.
- D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel. Tecnologia de fabricação do papel**. vol. 2, 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. 403 p.
- DENCE, C.; e REEVE,D. **Pulp Bleaching: principles and practice**. Atlanta: Tappi Press,1996,p. 27-57.
- FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, C.; ANDRADE, J. O. M. **Processo de pré-hidrolise/kraft para produção de celulose para dissolução a partir da madeira de eucalipto**. O Papel, v.XL, p. 54-62, ago. 1979.
- GOMES, F. J. B. (2010) **Bleaching improvement of kraft pulp in wood mixture of *Pinus spp.* and *Eucalyptus spp.* by the sequence OQD*(PO) and OQD*(PO)DP**. Master Dissertation presented to Federal University of Viçosa.
- EIRAS, K.M.M.; COLODETTE, J.L. **Eucalyptus kraft pulp bleaching with chlorine dioxide at high temperature**. JPPS, v.29, n.2, p.64, 2003.
- GOMIDE, J. L.; DEMUNER,B.J. **Determinação do teor de lignina em material lenhoso: Método Klason modificado**. O Papel 47(8):36-38, 1986.
- GOMIDE, J.L. **Polpa de Celulose. Química dos processos alcalinos de polpação**. Viçosa,MG:UFV,1979, 50p.
- HINCK, J.F.; CASEBIER, R.L.; HAMILT, J.K. **Dissolving pulp manufacture** .In:**Pulp and paper manufacture**,3 ed.Quebeec,CPPA, 1985.v.4, pag 213- 243
- Klemm, D.; Schmauder P.; Heinze,T.H. **Cellulose, in Biopolymers: Biology, Chemistry, Biotechnology, Applications, Polysaccharide II, Vol. 6**, S. De Baets, E.J. Vandamme, A. Steinbüchel (eds), Wiley-VCH, Weinheim, 2002,pp. 275.

LIMA, A.F. **Estudo da pré hidrolise da madeira:** Influência de algumas variáveis e cinética química. São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1981. 126p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química).

LIU, Z.; FATEHI, P.; JAHAN, M. S.; AND NI, Y. (2010). **Separation of lignocellulosic materials by combined processes of pre-hydrolysis and ethanol extraction.** Bioresource Technology, doi:10.1016/j.biortech.2010.08.049.

NAVARRO, R. M. S.. **Estudo dos diferentes tipos de processos de branqueamento de celulose objetivando a comparação entre seus metodos e a geração do potencial de poluentes em seus respectivos efluentes.** Dissertação de Mestrado apresentada a UNICAMP, 2004.

PAULA PURO, H. **Paper and board grades.** Atlanta: 2000. 134p. Papermaking Science and Technology Series.

RIBAS BATALHA (2012). **Dissolving pulp from bamboo.** BioResources 7(1), 640-651
RICHTER, G.A. **Production of high alpha-cellulose wood pulps and their properties.** Tappi, v.38, n. 3, March 1955.

RICHTER, G.A. **Production of high alpha-cellulose wood pulps and their properties.** Tappi, v.38, n. 3, March 1955.

RYDHOLM, S.V. **Pulping and processes.** New York. Interscience. 1965. 1269p

SANTOS, S. R. **Influência da qualidade da madeira de híbridos de eucalyptus grandis x eucalyptus urophylla e do processo kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada.** 2005. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 2005.

SIXTA, H. **Handbook of Pulp.** Vol 2, 2006.

SIXTA, H.; SCHUSTER, J.; MAYRHOFER, C.; et. al. **Towards effluent –free TCF bleaching of Eucalyptus prehydrolysis Kraft pulp.** In: INTERNATIONAL NON-CHLORINE BLEACHING CONFERENCE , 1994, San Francisco.

SJÖSTRÖM, E.; ALÉN, R. **Analytical methods in wood chemistry, pulping and papermaking.** 15. ed. 1999. 316 p

STRUNK, P. **Characterization of cellulose pulps and the influence of their properties on the process and production of viscose and cellulose ether.** Umeå University, Sweden, 2012.

SONG, S.; ZHANG, M.; LI, P.; ZHAO, L. **Research on silicon removal with oxides addition in kraft pulping of bamboo** 16Th International Symposium On Wood, Fiber And Pulping Chemistry - Proceedings, Iswfpc, 2011, v. 1, p. 617-620.

WAYMAN, M. & OBIAGA, T. I. **The modular structure of lignin,** Can. Journal of Chemistry., n. 52, p.2102-2110, 1974.

WIZANI. W.; LACKNER .K.; SINNER. M. **Prehydrolysis kraft displacement cooking (Visbatch) for TCF dissolving pulp** In: International Non Chlorine Bleaching Conference, 1994, San Francisco, s.n,1994 n.p.

APÊNDICE

APÊNDICE A

Quadro 1A. Resultados da otimização da deslignificação com oxigênio

Parâmetros	Rep	Tratamentos de Deslignificação com Oxigênio*									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10**
Temperatura, °C	-	95	95	95	100	100	100	105	105	105	105
Tempo, min	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	75
NaOH, kg/odt	-	16	19	22	16	19	22	16	19	22	22
pH Final	A	11,5	11,7	11,8	11,5	11,6	11,8	11,2	11,4	11,6	11,2
	B	11,6	11,6	11,8	11,4	11,6	11,7	11,1	11,3	11,5	11,3
	Média	11,6	11,7	11,8	11,4	11,6	11,7	11,2	11,4	11,5	11,2
Número Kappa	A	4,8	4,6	4,7	4,6	4,5	4,3	4,3	3,9	3,3	2,9
	B	4,8	4,8	4,5	4,6	4,5	4,4	4,1	3,8	3,5	3,0
	Média	4,8	4,7	4,6	4,6	4,5	4,4	4,2	3,9	3,4	3,0
Alvura, % ISO	A	51,4	52,1	52,9	54,2	54,4	54,9	55,4	56,6	57,0	61,3
	B	51,6	52,2	52,7	54,2	54,3	55,0	55,0	56,4	57,2	61,1
	Média	51,5	52,1	52,8	54,2	54,4	54,9	55,2	56,5	57,1	61,2
Viscosidade, dm ³ /kg	A	968	930	916	954	897	860	857	835	823	748
	B	971	935	912	960	901	863	861	840	827	756
	Média	969	932	914	957	899	861	859	838	825	752
Δ Kappa, %	-	48,4	49,5	50,5	50,5	51,6	52,7	54,8	58,1	63,4	67,7
Δ Alvura, % ISO	-	10,6	11,2	11,9	13,3	13,5	14,0	14,3	15,6	16,2	20,3
ΔViscosidade, dm ³ /kg	-	189	226	244	201	259	297	299	320	333	406

*Tempo=600 kPa; consistência = 10%; carga de O₂ = 18 kg/tas de polpa.

**no tratamento 10, foi utilizada as mesmas condições dos demais tratamentos, exceto que o tempo de reação foi aumentado para 75 min, visando baixar a viscosidade da polpa.

APÊNDICE B

Quadro 1B. Resultados da otimização do branqueamento – distribuição das cargas de dióxido de cloro – 10 kg/t no estágio D₀ e 8 kg/t no D₁

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	O	D	(EP)	D
Consistência, %	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	70	70	80
Tempo, min	60	30	120	180
Pressão, Bar	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	10	-	8
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-
NaOH, kg/tas	22	-	8	0,5
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	2,8	-	-
pH Final A	11,7	2,9	10,9	5,5
pH Final B	11,6	3,0	10,9	5,5
Média	11,7	3,0	10,9	5,5
Reagente Cons. A,%	-	-	-	-
Reagente Cons. B,%	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Kappa A	3,4	-	-	-
Kappa B	3,5	-	-	-
Média	3,4	-	-	-
Alvura A, % ISO	57,3	-	-	91,0
Alvura B, % ISO	56,9	-	-	91,2
Média	57,1	-	-	91,1
Reversão A, %ISO	-	-	-	-
Reversão B, %ISO	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	-	-	649
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	-	-	643
Média	825	-	-	646

Quadro 2B. Resultados da otimização do branqueamento – distribuição das cargas de dióxido de cloro – 10 kg/t no estágio D₀ e 12 kg/t no D₁

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	O	D	(EP)	D
Consistência, %	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	70	70	80
Tempo, min	60	30	120	180
Pressão, Bar	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	10	-	12
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-
NaOH, kg/tas	22	-	8	1,2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	2,8	-	-
pH Final A	11,7	2,9	10,9	5,1
pH Final B	11,6	3,0	10,9	5,1
Média	11,7	3,0	10,9	5,1
Reagente Cons. A,%	-	-	-	-
Reagente Cons. B,%	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Kappa A	3,4	-	-	-
Kappa B	3,5	-	-	-
Média	3,4	-	-	-
Alvura A, % ISO	57,3	-	-	91,6
Alvura B, % ISO	56,9	-	-	91,5
Média	57,1	-	-	91,6
Reversão A, %ISO	-	-	-	-
Reversão B, %ISO	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	-	-	624
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	-	-	630
Média	825	-	-	627

Quadro 3B. Resultados da otimização do branqueamento – distribuição das cargas de dióxido de cloro – 10 kg/t no estágio D₀ e 16 kg/t no D₁

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	O	D	(EP)	D
Consistência, %	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	70	70	80
Tempo, min	60	30	120	180
Pressão, Bar	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	10	-	16
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-
NaOH, kg/tas	22	-	8	1,5
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	2,8	-	-
pH Final A	11,7	2,9	10,9	5,1
pH Final B	11,6	3,0	10,9	5,0
Média	11,7	3,0	10,9	5,0
Reagente Cons. A,%	-	-	-	-
Reagente Cons. B,%	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Kappa A	3,4	-	-	-
Kappa B	3,5	-	-	-
Média	3,4	-	-	-
Alvura A, % ISO	57,3	-	-	91,5
Alvura B, % ISO	56,9	-	-	91,5
Média	57,1	-	-	91,5
Reversão A, %ISO	-	-	-	-
Reversão B, %ISO	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	-	-	606
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	-	-	614
Média	825	-	-	610

Quadro 4B. Resultados da otimização do branqueamento – distribuição das cargas de dióxido de cloro – 14 kg/t no estágio D₀ e 4 kg/t no D₁

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	O	D	(EP)	D
Consistência, %	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	70	70	80
Tempo, min	60	30	120	180
Pressão, Bar	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	14	-	4
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-
NaOH, kg/tas	22	-	9	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	1,9	-	0,5
pH Final A	11,7	3,0	10,9	5,0
pH Final B	11,6	2,8	11,0	4,9
Média	11,7	2,9	11,0	5,0
Reagente Cons. A,%	-	-	-	-
Reagente Cons. B,%	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Kappa A	3,4	-	-	-
Kappa B	3,5	-	-	-
Média	3,4	-	-	-
Alvura A, % ISO	57,3	-	-	91,6
Alvura B, % ISO	56,9	-	-	91,4
Média	57,1	-	-	91,5
Reversão A, %ISO	-	-	-	-
Reversão B, %ISO	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	-	-	642
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	-	-	636
Média	825	-	-	639

Quadro 5B. Resultados da otimização do branqueamento – distribuição das cargas de dióxido de cloro – 14 kg/t no estágio D₀ e 8 kg/t no D₁

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	O	D	(EP)	D
Consistência, %	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	70	70	80
Tempo, min	60	30	120	180
Pressão, Bar	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	14	-	8
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-
NaOH, kg/tas	22	-	9	0,5
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	1,9	-	-
pH Final A	11,7	3,0	10,9	5,5
pH Final B	11,6	2,8	11,0	5,5
Média	11,7	2,9	11,0	5,5
Reagente Cons. A,%	-	-	-	-
Reagente Cons. B,%	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Kappa A	3,4	-	-	-
Kappa B	3,5	-	-	-
Média	3,4	-	-	-
Alvura A, % ISO	57,3	-	-	92,0
Alvura B, % ISO	56,9	-	-	91,8
Média	57,1	-	-	91,9
Reversão A, %ISO	-	-	-	-
Reversão B, %ISO	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	-	-	649
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	-	-	641
Média	825	-	-	645

Quadro 6B. Resultados da otimização do branqueamento – distribuição das cargas de dióxido de cloro – 14 kg/t no estágio D₀ e 12 kg/t no D₁

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	O	D	(EP)	D
Consistência, %	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	70	70	80
Tempo, min	60	30	120	180
Pressão, Bar	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	14	-	12
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-
NaOH, kg/tas	22	-	9	1,2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	1,9	-	-
pH Final A	11,7	3,0	10,9	5,3
pH Final B	11,6	2,8	11,0	5,4
Média	11,7	2,9	11,0	5,4
Reagente Cons. A, %	-	-	-	-
Reagente Cons. B, %	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Kappa A	3,4	-	-	-
Kappa B	3,5	-	-	-
Média	3,4	-	-	-
Alvura A, % ISO	57,3	-	-	92,3
Alvura B, % ISO	56,9	-	-	92,3
Média	57,1	-	-	92,3
Reversão A, %ISO	-	-	-	-
Reversão B, %ISO	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	-	-	633
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	-	-	627
Média	825	-	-	630

Quadro 7B. Resultados da otimização do branqueamento – distribuição das cargas de dióxido de cloro – 16 kg/t no estágio D₀ e 2 kg/t no D₁

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	O	D	(EP)	D
Consistência, %	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	70	70	80
Tempo, min	60	30	120	180
Pressão, Bar	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	16	-	2
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-
NaOH, kg/tas	22	-	10	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	0,80	-	1,0
pH Final A	11,7	2,9	11,2	5,1
pH Final B	11,6	3,0	11,1	5,2
Média	11,7	3,0	11,2	5,2
Reagente Cons. A, %	-	-	-	-
Reagente Cons. B, %	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Kappa A	3,4	-	-	-
Kappa B	3,5	-	-	-
Média	3,4	-	-	-
Alvura A, % ISO	57,3	-	-	91,8
Alvura B, % ISO	56,9	-	-	91,7
Média	57,1	-	-	91,8
Reversão A, %ISO	-	-	-	-
Reversão B, %ISO	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	-	-	667
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	-	-	655
Média	825	-	-	661

Quadro 8B. Resultados da otimização do branqueamento – distribuição das cargas de dióxido de cloro – 18 kg/t no estágio D₀ e 4 kg/t no D₁

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	O	D	(EP)	D
Consistência, %	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	70	70	80
Tempo, min	60	30	120	180
Pressão, Bar	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-
NaOH, kg/tas	22	-	10	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	0,80	-	0,50
pH Final A	11,7	2,9	11,2	5,4
pH Final B	11,6	3,0	11,1	5,3
Média	11,7	3,0	11,2	5,4
Reagente Cons. A, %	-	-	-	-
Reagente Cons. B, %	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Kappa A	3,4	-	-	-
Kappa B	3,5	-	-	-
Média	3,4	-	-	-
Alvura A, % ISO	57,3	-	-	92,3
Alvura B, % ISO	56,9	-	-	92,2
Média	57,1	-	-	92,2
Reversão A, %ISO	-	-	-	-
Reversão B, %ISO	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	-	-	619
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	-	-	625
Média	825	-	-	622
OX A, mg/kg	-	-	-	64,6
OX B, mg/kg	-	-	-	64,0
Média	-	-	-	64,3

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	O	D	(EP)	D
Teor de xilanas A, %	-	-	-	2,84
Teor de xilanas B, %	-	-	-	2,80
Média	-	-	-	2,82
Pentosanas A, %	-	-	-	2,62
Pentosanas B, %	-	-	-	2,70
Média	-	-	-	2,66
Alfa-celulose A, %	-	-	-	95,2
Alfa-celulose B, %	-	-	-	95,0
Média	-	-	-	95,1
S10 A, %	-	-	-	4,6
S10 B, %	-	-	-	4,8
Média	-	-	-	4,7
S18 A, %	-	-	-	3,6
S18 B, %	-	-	-	3,6
Média	-	-	-	3,6
Extrativos em DCM A, %	-	-	-	0,09
Extrativos em DCM B, %	-	-	-	0,07
Média	-	-	-	0,06
Cinzas A, %	-	-	-	0,14
Cinzas B, %	-	-	-	0,12
Média	-	-	-	0,13
SiO ₂ A, mg/kg	-	-	-	405
SiO ₂ B, mg/kg	-	-	-	410
Média	-	-	-	407
Fe A, mg/kg	-	-	-	14,6
Fe B, mg/kg	-	-	-	14,4
Média	-	-	-	14,5
Ca A, mg/kg	-	-	-	68,0
Ca B, mg/kg	-	-	-	67,7
Média	-	-	-	67,9

Quadro 9B. Resultados da otimização do branqueamento – distribuição das cargas de dióxido de cloro – 18 kg/t no estágio D₀ e 8 kg/t no D₁

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	O	D	(EP)	D
Consistência, %	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	70	70	80
Tempo, min	60	30	120	180
Pressão, Bar	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-
NaOH, kg/tas	22	-	10	0,5
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	0,80	-	-
pH Final A	11,7	2,9	11,2	5,5
pH Final B	11,6	3,0	11,1	5,5
Média	11,7	3,0	11,2	5,5
Reagente Cons. A,%	-	-	-	-
Reagente Cons. B,%	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Kappa A	3,4	-	-	-
Kappa B	3,5	-	-	-
Média	3,4	-	-	-
Alvura A, % ISO	57,3	-	-	92,2
Alvura B, % ISO	56,9	-	-	92,1
Média	57,1	-	-	92,2
Reversão A, %ISO	-	-	-	-
Reversão B, %ISO	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	-	-	634
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	-	-	630
Média	825	-	-	632

APÊNDICE C

Quadro 1C. Resultados do branqueamento sequência D(EP)DP – polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3) - Estágio P final em pH final na faixa de 11.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EP)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	11,0
Consistência, %	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-	2
NaOH, kg/tas	22	-	10	-	3
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	0,80	-	0,50	-
Água clorada (Cl ₂), kg/tas	-	-	-	-	-
pH Final A	11,7	3,0	11,3	5,7	10,9
pH Final B	11,6	3,0	11,3	5,6	11,0
Média	11,7	3,0	11,3	5,7	11,0
Reagente Cons. A,%	-	100	64,0	95,8	80,7
Reagente Cons. B,%	-	100	65,6	95,1	83,0
Média	-	100	64,8	95,4	81,8
Kappa A	3,4	-	0,64	-	0,17
Kappa B	3,5	-	0,61	-	0,15
Média	3,4	-	0,62	-	0,16
Alvura A, % ISO	57,3	78,4	88,2	91,3	92,5
Alvura B, % ISO	56,9	78,0	87,8	91,2	92,6
Média	57,1	78,2	88,0	91,2	92,6
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	1,7
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	1,7
Média	-	-	-	-	1,7
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	11,0

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EP)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	11,0
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	793	654	619	565
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	798	661	625	575
Média	825	796	658	622	570
OX A, mg/kg	-	-	-	-	50,0
OX B, mg/kg	-	-	-	-	50,0
Média	-	-	-	-	50,0
Teor de xilanas A, %	-	-	-	-	2,74
Teor de xilanas B, %	-	-	-	-	2,66
Média	-	-	-	-	2,70
Pentosanas A, %	-	-	-	-	2,53
Pentosanas B, %	-	-	-	-	2,55
Média	-	-	-	-	2,54
Alfa-celulose A, %	-	-	-	-	95,5
Alfa-celulose B, %	-	-	-	-	95,3
Média	-	-	-	-	95,4
S10 A, %	-	-	-	-	4,7
S10 B, %	-	-	-	-	4,5
Média	-	-	-	-	4,6
S18 A, %	-	-	-	-	3,5
S18 B, %	-	-	-	-	3,4
Média	-	-	-	-	3,4
Extrativos em DCM A, %	-	-	-	-	0,08
Extrativos em DCM B, %	-	-	-	-	0,06
Média	-	-	-	-	0,07
Cinzas A, %	-	-	-	-	0,13
Cinzas B, %	-	-	-	-	0,11
Média	-	-	-	-	0,12

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EP)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	11,0
SiO ₂ A, mg/kg	-	-	-	-	396
SiO ₂ B, mg/kg	-	-	-	-	400
Média	-	-	-	-	398
Fe A, mg/kg	-	-	-	-	14,0
Fe B, mg/kg	-	-	-	-	14,8
Média	-	-	-	-	14,4
Ca A, mg/kg	-	-	-	-	69,3
Ca B, mg/kg	-	-	-	-	67,5
Média	-	-	-	-	68,4

Quadro 2C. Resultados do branqueamento sequência D(EP)DP - polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3) – Estágio P final em pH final na faixa de 10.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EP)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	10,0
Consistência, %	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-	4
NaOH, kg/tas	22	-	10	-	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	0,80	-	0,50	-
Água clorada (Cl ₂), kg/tas	-	-	-	-	-
pH Final A	11,7	3,0	11,3	5,7	10,0
pH Final B	11,6	3,0	11,3	5,6	10,0
Média	11,7	3,0	11,3	5,7	10,0

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EP)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	10,0
Reagente Cons. A,%	-	100	64,0	95,8	83,2
Reagente Cons. B,%	-	100	65,6	95,1	82,4
Média	-	100	64,8	95,4	82,8
Kappa A	3,4	-	0,64	-	0,14
Kappa B	3,5	-	0,61	-	0,16
Média	3,4	-	0,62	-	0,15
Alvura A, % ISO	57,3	78,4	88,2	91,3	92,5
Alvura B, % ISO	56,9	78,0	87,8	91,2	92,7
Média	57,1	78,2	88,0	91,2	92,6
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	1,7
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	1,8
Média	-	-	-	-	1,8
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	779	654	586	560
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	773	661	592	554
Média	825	776	658	589	557

Quadro 3C. Resultados do branqueamento sequência D(EP)DP – polpa deslignificada com oxigênio na condição intensiva.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EP)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	11,0
Consistência, %	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75
Tempo, min	75	210	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	14	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-	2
NaOH, kg/tas	22	-	10	-	3
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	1,2	-	0,50	-

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EP)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	11,0
Água clorada (Cl ₂), kg/tas	-	-	-	-	-
pH Final A	11,2	2,9	11,5	5,8	10,6
pH Final B	11,3	3,0	11,5	5,8	10,5
Média	11,2	2,9	11,5	5,8	10,5
Reagente Cons. A,%	-	100	62,0	100	80,5
Reagente Cons. B,%	-	100	61,8	100	79,1
Média	-	100	61,9	100	79,8
Kappa A	2,9	-	0,72	-	0,17
Kappa B	3,0	-	0,78	-	0,19
Média	3,0	-	0,75	-	0,18
Alvura A, % ISO	61,3	78,0	87,6	90,9	92,4
Alvura B, % ISO	61,1	77,6	87,4	90,7	92,5
Média	61,2	77,8	87,5	90,8	92,5
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	1,5
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	1,6
Média	-	-	-	-	1,6
Viscosidade A, dm ³ /kg	748	672	584	542	503
Viscosidade B, dm ³ /kg	756	674	581	548	507
Média	752	673	582	545	505
OX A, mg/kg	-	-	-	-	41,0
OX B, mg/kg	-	-	-	-	40,4
Média	-	-	-	-	40,7
Teor de xilanas A, %	-	-	-	-	2,70
Teor de xilanas B, %	-	-	-	-	2,66
Média	-	-	-	-	2,68
Pentosanas A, %	-	-	-	-	2,48
Pentosanas B, %	-	-	-	-	2,50
Média	-	-	-	-	2,49
Alfa-celulose A, %	-	-	-	-	95,5
Alfa-celulose B, %	-	-	-	-	95,7
Média	-	-	-	-	95,6
S10 A, %	-	-	-	-	4,5
S10 B, %	-	-	-	-	4,6
Média	-	-	-	-	4,6

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EP)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	11,0
S18 A, %	-	-	-	-	3,35
S18 B, %	-	-	-	-	3,4
Média	-	-	-	-	3,4
Extrativos em DCM A, %	-	-	-	-	0,5
Extrativos em DCM B, %	-	-	-	-	0,8
Média	-	-	-	-	0,6
Cinzas A, %	-	-	-	-	0,11
Cinzas B, %	-	-	-	-	0,11
Média	-	-	-	-	0,11
SiO ₂ A, mg/kg	-	-	-	-	374
SiO ₂ B, mg/kg	-	-	-	-	382
Média	-	-	-	-	378
Fe A, mg/kg	-	-	-	-	15,2
Fe B, mg/kg	-	-	-	-	14,4
Média	-	-	-	-	14,8
Ca A, mg/kg	-	-	-	-	64,6
Ca B, mg/kg	-	-	-	-	64,1
Média	-	-	-	-	64,3

Quadro 4C. Resultados do branqueamento sequência (DC)(EP)DP – polpa deslignificada com oxigênio condição aperfeiçoada (Tabela 3) - Estágio P final em pH na faixa de 11.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	(DC)	(EP)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	11,0
Consistência, %	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	(DC)	(EP)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	11,0
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-	2
NaOH, kg/tas	22	-	10	-	3
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	-	0,50	-
Água clorada (Cl ₂), kg/tas	-	1,7	-	-	-
pH Final A	11,7	2,6	11,2	5,2	10,7
pH Final B	11,6	2,6	11,2	5,3	10,7
Média	11,7	2,6	11,2	5,3	10,7
Reagente Cons. A, %	-	100	70,3	96,0	86,2
Reagente Cons. B, %	-	100	70,6	96,8	87,1
Média	-	100	70,4	96,4	86,6
Kappa A	3,4	-	0,61	-	0,16
Kappa B	3,5	-	0,59	-	0,18
Média	3,4	-	0,60	-	0,17
Alvura A, % ISO	57,3	78,8	88,1	91,8	92,8
Alvura B, % ISO	56,9	79,4	88,5	92,0	92,8
Média	57,1	79,1	88,3	91,9	92,8
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	1,8
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	1,7
Média	-	-	-	-	1,8
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	706	596	557	519
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	718	608	551	527
Média	825	712	602	554	523
OX A, mgCl ⁻ /kg	-	-	-	-	67,4
OX B, mgCl ⁻ /kg	-	-	-	-	67,5
Média	-	-	-	-	67,4

Quadro 5C. Resultados do branqueamento seqüência (DC)(EP)DP – polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3) - Estágio P final em pH na faixa de 10.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	(DC)	(EP)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	10,0
Consistência, %	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-	4
NaOH, kg/tas	22	-	10	-	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	-	0,50	-
Água clorada (Cl ₂), kg/tas	-	1,7	-	-	-
pH Final A	11,7	2,6	11,2	5,2	10,1
pH Final B	11,6	2,6	11,2	5,3	10,0
Média	11,7	2,6	11,2	5,3	10,0
Reagente Cons. A,%	-	100	70,3	96,0	82,1
Reagente Cons. B,%	-	100	70,6	96,8	82,9
Média	-	100	70,4	96,4	82,5
Kappa A	3,4	-	0,61	-	0,17
Kappa B	3,5	-	0,59	-	0,16
Média	3,4	-	0,60	-	0,16
Alvura A, % ISO	57,3	78,8	88,1	91,8	92,7
Alvura B, % ISO	56,9	79,4	88,5	92,0	92,5
Média	57,1	79,1	88,3	91,9	92,6
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	1,9
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	1,7
Média	-	-	-	-	1,8
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	721	596	555	521
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	725	608	563	514
Média	825	723	602	559	518
OX A, mgCl/kg	-	-	-	-	69,0
OX B, mgCl/kg	-	-	-	-	69,4
Média	-	-	-	-	69,2

Quadro 6C. Resultados do branqueamento sequência D(EH)DP - polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3) - pH final do estágio (EH) de 8,0 e do estágio P final de 10,0.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EH)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	8,0	5,0 – 5,5	10,0
Consistência, %	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	2
NaClO (como Cl ₂), kg/tas	-	-	4	-	-
NaOH, kg/tas	22	-	1,9	-	3
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	0,80	-	0	-
pH Final A	11,7	2,6	8,1	5,3	10,0
pH Final B	11,6	2,6	8,2	5,2	10,1
Média	11,7	2,6	8,2	5,3	10,0
Reagente Cons. A,%	-	100	100	98,6	81,1
Reagente Cons. B,%	-	100	100	98,8	81,9
Média	-	100	100	98,7	81,5
Kappa A	3,4	-	0,35	-	0,18
Kappa B	3,5	-	0,38	-	0,19
Média	3,4	-	0,36	-	0,18
Alvura A, % ISO	57,3	78,8	88,6	90,1	91,8
Alvura B, % ISO	56,9	79,4	88,9	90,3	91,6
Média	57,1	79,1	88,8	90,2	91,7
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	2,0
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	1,9
Média	-	-	-	-	2,0
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	706	529	523	492
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	718	523	519	488
Média	825	712	526	521	490
OX A, mg/kg	-	-	-	-	66,0
OX B, mg/kg	-	-	-	-	63,0
Média	-	-	-	-	64,5

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EH)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	8,0	5,0 – 5,5	10,0
Teor de xilanas A, %	-	-	-	-	2,76
Teor de xilanas B, %	-	-	-	-	2,67
Média	-	-	-	-	2,72
Pentosanas A, %	-	-	-	-	2,54
Pentosanas B, %	-	-	-	-	2,52
Média	-	-	-	-	2,53
Alfa-celulose A, %	-	-	-	-	95,0
Alfa-celulose B, %	-	-	-	-	95,0
Média	-	-	-	-	95,0
S10 A, %	-	-	-	-	3,91
S10 B, %	-	-	-	-	3,95
Média	-	-	-	-	3,93
S18 A, %	-	-	-	-	3,94
S18 B, %	-	-	-	-	3,92
Média	-	-	-	-	3,93
Extrativos em DCM A, %	-	-	-	-	0,07
Extrativos em DCM B, %	-	-	-	-	0,11
Média	-	-	-	-	0,09
Cinzas A, %	-	-	-	-	0,11
Cinzas B, %	-	-	-	-	0,11
Média	-	-	-	-	0,11
SiO ₂ A, %	-	-	-	-	408
SiO ₂ B, %	-	-	-	-	402
Média	-	-	-	-	405
Fe A, mg/kg	-	-	-	-	15,2
Fe B, mg/kg	-	-	-	-	16,0
Média	-	-	-	-	15,6
Ca A, mg/kg	-	-	-	-	59,3
Ca B, mg/kg	-	-	-	-	58,1
Média	-	-	-	-	58,7

Quadro 7C. Resultados do branqueamento sequência D(EH)DP - polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3) - pH final do estágio (EH) de 8,0 e do estágio P final de 11,0.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EH)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	8,0	5,0 – 5,5	11,0
Consistência, %	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	2
NaClO (como Cl ₂), kg/tas	-	-	4	-	-
NaOH, kg/tas	22	-	1,9	-	4
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	0,80	-	0	-
pH Final A	11,7	2,6	8,1	5,3	11,0
pH Final B	11,6	2,6	8,2	5,2	11,2
Média	11,7	2,6	8,2	5,3	11,1
Reagente Cons. A,%	-	100	100	98,6	88,7
Reagente Cons. B,%	-	100	100	98,8	88,9
Média	-	100	100	98,7	88,8
Kappa A	3,4	-	0,35	-	0,21
Kappa B	3,5	-	0,38	-	0,23
Média	3,4	-	0,36	-	0,22
Alvura A, % ISO	57,3	78,8	88,6	90,1	91,6
Alvura B, % ISO	56,9	79,4	88,9	90,3	91,4
Média	57,1	79,1	88,8	90,2	91,5
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	1,9
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	1,9
Média	-	-	-	-	1,9
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	706	529	523	508
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	718	523	519	502
Média	825	712	526	521	505

Quadro 8C. Resultados do branqueamento sequência D(EH)DP – polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3) - pH final do estágio (EH) de 9,0 e do estágio P final de 10,0

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EH)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	9,0	5,0 – 5,5	10,0
Consistência, %	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	2
NaClO (como Cl ₂), kg/tas	-	-	4	-	-
NaOH, kg/tas	22	-	2,3	-	3
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	0,80	-	0	-
pH Final A	11,7	2,6	9,0	5,2	10,2
pH Final B	11,6	2,6	9,2	5,1	10,1
Média	11,7	2,6	9,1	5,1	10,1
Reagente Cons. A,%	-	100	100	99,6	79,9
Reagente Cons. B,%	-	100	100	99,8	78,8
Média	-	100	100	99,7	79,3
Kappa A	3,4	-	0,64	-	0,33
Kappa B	3,5	-	0,62	-	0,30
Média	3,4	-	0,61	-	0,31
Alvura A, % ISO	57,3	78,8	89,1	90,6	92,2
Alvura B, % ISO	56,9	79,4	89,0	90,7	92,3
Média	57,1	79,1	89,0	90,6	92,2
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	2,2
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	2,2
Média	-	-	-	-	2,2
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	706	535	528	515
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	718	533	524	512
Média	825	712	534	526	513

Quadro 9C. Resultados do branqueamento sequência D(EH)DP - polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3) - pH final do estágio (EH) de 10,0 e do estágio P final de 10,0

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EH)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	10,0	5,0 – 5,5	10,0
Consistência, %	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	2
NaClO (como Cl ₂), kg/tas	-	-	4	-	-
NaOH, kg/tas	22	-	4,0	-	3
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	0,80	-	0	-
pH Final A	11,7	2,6	10,1	5,0	10,2
pH Final B	11,6	2,6	10,3	5,1	10,1
Média	11,7	2,6	10,2	5,1	10,1
Reagente Cons. A,%	-	100	100	99,8	79,9
Reagente Cons. B,%	-	100	100	99,7	78,8
Média	-	100	100	99,8	79,3
Kappa A	3,4	-	0,75	-	0,33
Kappa B	3,5	-	0,78	-	0,30
Média	3,4	-	0,76	-	0,31
Alvura A, % ISO	57,3	78,8	89,5	90,9	92,5
Alvura B, % ISO	56,9	79,4	89,6	90,9	92,4
Média	57,1	79,1	89,5	90,9	92,5
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	2,1
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	2,2
Média	-	-	-	-	2,2
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	706	540	534	522
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	718	542	530	518
Média	825	712	541	532	520

Quadro 10C. Resultados do branqueamento sequência D(EH)DP - polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3) - pH final do estágio (EH) de 11,0 e do estágio P final de 10,0

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EH)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	10,0
Consistência, %	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	2
NaClO (como Cl ₂), kg/tas	-	-	4	-	-
NaOH, kg/tas	22	-	5,5	-	3
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	0,80	-	0	-
pH Final A	11,7	2,6	11,0	5,3	10,1
pH Final B	11,6	2,6	10,9	5,2	10,0
Média	11,7	2,6	11,0	5,2	10,0
Reagente Cons. A,%	-	100	100	99,5	74,3
Reagente Cons. B,%	-	100	100	99,4	74,1
Média	-	100	100	99,5	74,2
Kappa A	3,4	-	0,88	-	0,23
Kappa B	3,5	-	0,92	-	0,26
Média	3,4	-	0,90	-	0,24
Alvura A, % ISO	57,3	78,8	89,8	91,1	92,8
Alvura B, % ISO	56,9	79,4	89,9	91,2	92,9
Média	57,1	79,1	89,9	91,1	92,8
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	2,0
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	1,9
Média	-	-	-	-	2,0
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	706	585	570	550
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	718	595	574	560
Média	825	712	590	572	555

Quadro 11C. Resultados do branqueamento sequência (DC)(EH)DP – polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3) - pH final do estágio (EH) de 9,0 e do estágio P final de 11,0

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	(DC)	(EH)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	9,0	5,0 – 5,5	11,0
Consistência, %	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-
Água clorada (Cl ₂), kg/tas	-	1,7	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	2
NaClO (como Cl ₂), kg/tas	-	-	4	-	-
NaOH, kg/tas	22	-	2,5	-	4,0
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	-	0,1	-
pH Final A	11,7	2,6	8,8	5,6	11,0
pH Final B	11,6	2,6	8,9	5,5	10,8
Média	11,7	2,6	8,8	5,6	10,9
Reagente Cons. A,%	-	100	100	94,9	69,7
Reagente Cons. B,%	-	100	100	94,3	69,0
Média	-	100	100	94,6	69,4
Kappa A	3,4	-	0,48	-	0,27
Kappa B	3,5	-	0,47	-	0,23
Média	3,4	-	0,48	-	0,25
Alvura A, % ISO	57,3	78,8	88,0	91,5	92,2
Alvura B, % ISO	56,9	79,4	88,2	91,5	92,3
Média	57,1	79,1	88,1	91,5	92,2
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	2,4
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	2,6
Média	-	-	-	-	2,5
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	706	527	501	490
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	718	535	505	484
Média	825	712	531	503	487

Quadro 12C. Resultados do branqueamento sequência (DC)(EH)DP – polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3) - pH final do estágio (EH) de 10,0 e do estágio P final de 10,0

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	DC	(EH)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	10,0	5,0 – 5,5	10,0
Consistência, %	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-
Água clorada (Cl ₂), kg/tas	-	1,7	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	2
NaClO (como Cl ₂), kg/tas	-	-	4	-	-
NaOH, kg/tas	22	-	4,0	-	2,0
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	-	0,3	-
pH Final A	11,7	2,6	10,3	5,1	10,2
pH Final B	11,6	2,6	10,1	5,0	9,9
Média	11,7	2,6	10,2	5,0	10,0
Reagente Cons. A,%	-	100	100	87,8	82,2
Reagente Cons. B,%	-	100	100	88,3	83,0
Média	-	100	100	88,0	82,6
Kappa A	3,4	-	0,51	-	0,37
Kappa B	3,5	-	0,50	-	0,33
Média	3,4	-	0,50	-	0,35
Alvura A, % ISO	57,3	78,8	88,3	92,0	92,5
Alvura B, % ISSO	56,9	79,4	88,1	91,8	92,5
Média	57,1	79,1	88,2	91,9	92,5
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	2,5
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	2,4
Média	-	-	-	-	2,4
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	706	569	547	515
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	718	559	535	509
Média	825	712	564	541	512

Quadro 13C. Resultados do branqueamento sequência (DC)(EH)DP – polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3) - pH final do estágio (EH) de 11,0 e do estágio P final de 9,0

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	DC	(EH)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	9,0
Consistência, %	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-
Água clorada (Cl ₂), kg/tas	-	1,7	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	2
NaClO (como Cl ₂), kg/tas	-	-	4	-	-
NaOH, kg/tas	22	-	5,5	-	1,5
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	-	0,4	-
pH Final A	11,7	2,6	10,7	5,4	9,2
pH Final B	11,6	2,6	10,7	5,2	9,0
Média	11,7	2,6	10,7	5,3	9,1
Reagente Cons. A,%	-	100	100	87,7	58,1
Reagente Cons. B,%	-	100	100	88,3	58,5
Média	-	100	100	88,0	58,3
Kappa A	3,4	-	0,57	-	0,41
Kappa B	3,5	-	0,58	-	0,45
Média	3,4	-	0,58	-	0,43
Alvura A, % ISO	57,3	78,8	86,6	92,1	92,5
Alvura B, % ISO	56,9	79,4	86,5	92,0	92,3
Média	57,1	79,1	86,6	92,0	92,4
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	2,5
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	2,3
Média	-	-	-	-	2,4
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	706	612	580	538
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	718	623	570	546
Média	825	712	618	575	542

APÊNDICE D

Quadro 1D. Resultados do branqueamento sequência D(EP)DP – polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3) – Estágio P final em pH final na faixa de 11.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EP)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	11,0
Consistência, %	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-	2
NaOH, kg/tas	22	-	10	-	3
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	0,80	-	0,50	-
Água clorada (Cl ₂), kg/tas	-	-	-	-	-
pH Final A	11,7	3,0	11,3	5,7	10,9
pH Final B	11,6	3,0	11,3	5,6	11,0
Média	11,7	3,0	11,3	5,7	11,0
Reagente Cons. A,%	-	100	64,0	95,8	80,7
Reagente Cons. B,%	-	100	65,6	95,1	83,0
Média	-	100	64,8	95,4	81,8
Kappa A	3,4	-	0,64	-	0,17
Kappa B	3,5	-	0,61	-	0,15
Média	3,4	-	0,62	-	0,16
Alvura A, % ISO	57,3	78,4	88,2	91,3	92,5
Alvura B, % ISO	56,9	78,0	87,8	91,2	92,6
Média	57,1	78,2	88,0	91,2	92,6
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	1,7
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	1,7
Média	-	-	-	-	1,7
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	793	654	619	565
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	798	661	625	575
Média	825	796	658	622	570

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EP)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	11,0
OX A, mg/kg	-	-	-	-	50,0
OX B, mg/kg	-	-	-	-	50,0
Média	-	-	-	-	50,0
Teor de xilanas A, %	-	-	-	-	2,74
Teor de xilanas B, %	-	-	-	-	2,66
Média	-	-	-	-	2,70
Pentosanas A, %	-	-	-	-	2,53
Pentosanas B, %	-	-	-	-	2,55
Média	-	-	-	-	2,54
Alfa-celulose A, %	-	-	-	-	95,5
Alfa-celulose B, %	-	-	-	-	95,3
Média	-	-	-	-	95,4
S10 A, %	-	-	-	-	4,7
S10 B, %	-	-	-	-	4,5
Média	-	-	-	-	4,6
S18 A, %	-	-	-	-	3,5
S18 B, %	-	-	-	-	3,4
Média	-	-	-	-	3,4
Extrativos em DCM A, %	-	-	-	-	0,08
Extrativos em DCM B, %	-	-	-	-	0,06
Média	-	-	-	-	0,07
Cinzas A, %	-	-	-	-	0,13
Cinzas B, %	-	-	-	-	0,11
Média	-	-	-	-	0,12
SiO ₂ A, mg/kg	-	-	-	-	396
SiO ₂ B, mg/kg	-	-	-	-	400
Média	-	-	-	-	398
Fe A, mg/kg	-	-	-	-	14,0
Fe B, mg/kg	-	-	-	-	14,8
Média	-	-	-	-	14,4
Ca A, mg/kg	-	-	-	-	69,3
Ca B, mg/kg	-	-	-	-	67,5
Média	-	-	-	-	68,4

Quadro 2D. Resultados do branqueamento sequência D(EP)DPQ – polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3).

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento					
	O	D	(EP)	D	P	Q
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	11,0	6,2
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75	60
Tempo, min	60	210	105	210	105	30
Pressão, Bar	600	-	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	4	-	2	-
NaOH, kg/tas	22	-	10	-	3	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	0,80	-	0,50	-	0,20
EDTA, kg/tas	-	-	-	-	-	2,0
Água clorada (Cl ₂), kg/tas	-	-	-	-	-	-
pH Final A	11,7	3,0	11,3	5,7	10,7	6,8
pH Final B	11,6	3,0	11,3	5,6	10,7	6,9
Média	11,7	3,0	11,3	5,7	10,7	6,8
Reagente Cons. A, %	-	100	64,0	95,8	80,7	-
Reagente Cons. B, %	-	100	65,6	95,1	83,0	-
Média	-	100	64,8	95,4	81,8	-
Kappa A	3,4	-	0,64	-	0,17	0,13
Kappa B	3,5	-	0,61	-	0,15	0,17
Média	3,4	-	0,62	-	0,16	0,15
Alvura A, % ISO	57,3	78,4	88,2	91,3	92,5	92,9
Alvura B, % ISO	56,9	78,0	87,8	91,2	92,6	92,8
Média	57,1	78,2	88,0	91,2	92,6	92,8
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	1,7	1,5
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	1,7	1,4
Média	-	-	-	-	1,7	1,5
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	793	654	619	565	565
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	798	661	625	575	568
Média	825	796	658	622	570	567

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento					
	O	D	(EP)	D	P	Q
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	11,0	5,0 – 5,5	11,0	6,2
OX A, mg/kg	-	-	-	-	50,0	49,5
OX B, mg/kg	-	-	-	-	50,0	49,9
Média	-	-	-	-	50,0	49,7
Teor de xilanas A, %	-	-	-	-	2,74	2,70
Teor de xilanas B, %	-	-	-	-	2,66	2,74
Média	-	-	-	-	2,70	2,72
Pentosanas A, %	-	-	-	-	2,53	2,57
Pentosanas B, %	-	-	-	-	2,55	2,50
Média	-	-	-	-	2,54	2,53
Alfa-celulose A, %	-	-	-	-	95,5	95,4
Alfa-celulose B, %	-	-	-	-	95,3	95,2
Média	-	-	-	-	95,4	95,3
S10 A, %	-	-	-	-	4,7	4,7
S10 B, %	-	-	-	-	4,5	4,8
Média	-	-	-	-	4,6	4,7
S18 A, %	-	-	-	-	3,5	3,4
S18 B, %	-	-	-	-	3,4	3,5
Média	-	-	-	-	3,4	3,5
Extrativos em DCM A, %	-	-	-	-	0,08	0,08
Extrativos em DCM B, %	-	-	-	-	0,06	0,07
Média	-	-	-	-	0,07	0,07
Cinzas A, %	-	-	-	-	0,13	0,11
Cinzas B, %	-	-	-	-	0,11	0,10
Média	-	-	-	-	0,12	0,10
SiO ₂ A, mg/kg	-	-	-	-	396	392
SiO ₂ B, mg/kg	-	-	-	-	400	398
Média	-	-	-	-	398	395
Fe A, mg/kg	-	-	-	-	14,0	9,8
Fe B, mg/kg	-	-	-	-	14,8	10,3
Média	-	-	-	-	14,4	10,1
Ca A, mg/kg	-	-	-	-	69,3	41,5
Ca B, mg/kg	-	-	-	-	67,5	41,1
Média	-	-	-	-	68,4	41,3

Quadro 3D. Resultados do branqueamento sequência D(EH)DP – polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3).

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EH)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	8,0	5,0 – 5,5	10,0
Consistência, %	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	2
NaClO (como Cl ₂), kg/tas	-	-	4	-	-
NaOH, kg/tas	22	-	1,9	-	3
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	0,80	-	0	-
pH Final A	11,7	2,6	8,1	5,3	10,0
pH Final B	11,6	2,6	8,2	5,2	10,1
Média	11,7	2,6	8,2	5,3	10,0
Reagente Cons. A,%	-	100	100	98,6	81,1
Reagente Cons. B,%	-	100	100	98,8	81,9
Média	-	100	100	98,7	81,5
Kappa A	3,4	-	0,35	-	0,18
Kappa B	3,5	-	0,38	-	0,19
Média	3,4	-	0,36	-	0,18
Alvura A, % ISO	57,3	78,8	88,6	90,1	91,8
Alvura B, % ISO	56,9	79,4	88,9	90,3	91,6
Média	57,1	79,1	88,8	90,2	91,7
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	2,0
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	1,9
Média	-	-	-	-	2,0
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	706	529	523	492
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	718	523	519	488
Média	825	712	526	521	490
OX A, mg/kg	-	-	-	-	66,0
OX B, mg/kg	-	-	-	-	63,0
Média	-	-	-	-	64,5

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EH)	D	P
pH final do estágio	-	2,5 – 3,0	8,0	5,0 – 5,5	10,0
Teor de xilanas A, %	-	-	-	-	2,76
Teor de xilanas B, %	-	-	-	-	2,67
Média	-	-	-	-	2,72
Pentosanas A, %	-	-	-	-	2,54
Pentosanas B, %	-	-	-	-	2,52
Média	-	-	-	-	2,53
Alfa-celulose A, %	-	-	-	-	95,0
Alfa-celulose B, %	-	-	-	-	95,0
Média	-	-	-	-	95,0
S10 A, %	-	-	-	-	3,91
S10 B, %	-	-	-	-	3,95
Média	-	-	-	-	3,93
S18 A, %	-	-	-	-	3,94
S18 B, %	-	-	-	-	3,92
Média	-	-	-	-	3,93
Extrativos em DCM A, %	-	-	-	-	0,07
Extrativos em DCM B, %	-	-	-	-	0,11
Média	-	-	-	-	0,09
Cinzas A, %	-	-	-	-	0,11
Cinzas B, %	-	-	-	-	0,11
Média	-	-	-	-	0,11
SiO ₂ A, %	-	-	-	-	408
SiO ₂ B, %	-	-	-	-	402
Média	-	-	-	-	405
Fe A, mg/kg	-	-	-	-	15,2
Fe B, mg/kg	-	-	-	-	16,0
Média	-	-	-	-	15,6
Ca A, mg/kg	-	-	-	-	59,3
Ca B, mg/kg	-	-	-	-	58,1
Média	-	-	-	-	58,7

Quadro 4D. Resultados do branqueamento sequência D(EH)DP – polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3) - pH final do estágio Do de 1,7, do estágio (EH) de 8,0 e do estágio P final de 10,0

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EH)	D	P
pH final do estágio	-	1,7	8,0	5,0 – 5,5	10,0
Consistência, %	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75
Tempo, min	60	210	105	210	105
Pressão, Bar	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	2
NaClO (como Cl ₂), kg/tas	-	-	4	-	-
NaOH, kg/tas	22	-	3,9	-	4
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	50,0	-	0	-
pH Final A	11,7	1,7	7,8	5,5	10,0
pH Final B	11,6	1,8	8,0	5,5	10,2
Média	11,7	1,8	7,9	5,5	10,1
Reagente Cons. A,%	-	100	100	94,1	97,8
Reagente Cons. B,%	-	100	100	93,1	97,7
Média	-	100	100	93,6	97,8
Kappa A	3,4	-	0,23	-	0,21
Kappa B	3,5	-	0,23	-	0,20
Média	3,4	-	0,23	-	0,20
Alvura A, % ISO	57,3	81,7	88,6	91,7	91,7
Alvura B, % ISO	56,9	81,8	88,8	91,5	91,8
Média	57,1	81,8	88,7	91,6	91,8
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	1,4
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	1,4
Média	-	-	-	-	1,4
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	344	321	313	286
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	356	327	321	290
Média	825	350	324	317	288
Cinzas A, %	-	-	-	-	0,08
Cinzas B, %	-	-	-	-	0,08
Média	-	-	-	-	0,08

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	O	D	(EH)	D	P
pH final do estágio	-	1,7	8,0	5,0 – 5,5	10,0
SiO ₂ A, %	-	-	-	-	0,03
SiO ₂ B, %	-	-	-	-	392
Média	-	-	-	-	386
Fe A, mg/kg	-	-	-	-	389
Fe B, mg/kg	-	-	-	-	13,7
Média	-	-	-	-	13,8
Ca A, mg/kg	-	-	-	-	12,5
Ca B, mg/kg	-	-	-	-	12,8
Média	-	-	-	-	12,7
OX A, mg Cl/kg	-	-	-	-	66,0
OX B, mg Cl/kg	-	-	-	-	63,0
Média	-	-	-	-	64,5

Quadro 5D. Resultados do branqueamento sequência D(EH)DPQ – polpa deslignificada com oxigênio na condição aperfeiçoada (Tabela 3) - pH final do estágio Do de 1,7, do estágio (EH) de 8,0 e do estágio P final de 10,0

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento					
	O	D	(EH)	D	P	Q
pH final do estágio	-	1,7	8,0	5,0 – 5,5	10,0	7,0
Consistência, %	10	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	75	75	75	75	60
Tempo, min	60	210	105	210	105	30
Pressão, Bar	600	-	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	18	-	-	-	-	-
ClO ₂ (como Cl ₂), kg/tas	-	18	-	4	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	2	-
NaClO (como Cl ₂), kg/tas	-	-	4	-	-	-
EDTA, kg/tas	-	-	-	-	-	2
NaOH, kg/tas	22	-	3,9	-	4	-

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento					
	O	D	(EH)	D	P	Q
pH final do estágio	-	1,7	8,0	5,0 – 5,5	10,0	7,0
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	50,0	-	0	-	0,15
pH Final A	11,7	1,7	7,8	5,5	10,0	6,9
pH Final B	11,6	1,8	8,0	5,5	10,2	7,0
Média	11,7	1,8	7,9	5,5	10,1	7,0
Reagente Cons. A,%	-	100	100	94,1	97,8	-
Reagente Cons. B,%	-	100	100	93,1	97,7	-
Média	-	100	100	93,6	97,8	-
Kappa A	3,4	-	0,23	-	0,21	0,14
Kappa B	3,5	-	0,23	-	0,20	0,16
Média	3,4	-	0,23	-	0,20	0,15
Alvura A, % ISO	57,3	81,7	88,6	91,7	91,7	92,1
Alvura B, % ISO	56,9	81,8	88,8	91,5	91,8	92,1
Média	57,1	81,8	88,7	91,6	91,8	92,1
Reversão A, %ISO	-	-	-	-	-	1,4
Reversão B, %ISO	-	-	-	-	-	1,5
Média	-	-	-	-	-	1,4
Viscosidade A, dm ³ /kg	818	344	321	313	286	280
Viscosidade B, dm ³ /kg	832	356	327	321	290	286
Média	825	350	324	317	288	283
Cinzas A, %	-	-	-	-	-	0,07
Cinzas B, %	-	-	-	-	-	0,08
Média	-	-	-	-	-	0,08
SiO ₂ A, %	-	-	-	-	-	360
SiO ₂ B, %	-	-	-	-	-	370
Média	-	-	-	-	-	365
Fe A, mg/kg	-	-	-	-	-	10,0
Fe B, mg/kg	-	-	-	-	-	9,8
Média	-	-	-	-	-	9,9
Ca A, mg/kg	-	-	-	-	-	8,8
Ca B, mg/kg	-	-	-	-	-	8,4
Média	-	-	-	-	-	8,6
OX A, mg Cl/kg	-	-	-	-	-	79,0
OX B, mg Cl/kg	-	-	-	-	-	79,6
Média	-	-	-	-	-	79,3

