

FERNANDA ROSA VIEIRA

**USO DO OZÔNIO NO BRANQUEAMENTO DE POLPA 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
2015

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

V657u Vieira, Fernanda Rosa, 1988-
2015 Uso do ozônio no branqueamento de polpa de
eucalipto para dissolução / Fernanda Rosa Vieira. -
Viçosa, MG, 2015.
ix, 145f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador : Jorge Luiz Colodette.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f.37-41.

1. Polpa de madeira - Branqueamento. 2. Ozônio.
3. Eucalipto. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Florestal. Programa de
Pós-graduação em Tecnologia de Celulose e Papel.
II. Título.

CDD 22. ed. 634.986

FERNANDA ROSA VIEIRA

**USO DO OZÔNIO NO BRANQUEAMENTO DE POLPA 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: 10 de novembro de 2015.

Marcela Freitas Andrade

Fernando José Borges Gomes
(Coorientador)

Jorge Luiz Colodette
(Orientador)

À Deus.
Aos meus pais, Luís (in memoriun) e Rita de
Cássia.
As minhas irmãs.
Aos meus amigos.
Dedico com amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por guiar meu caminho e me abençoar com saúde e força ao longo da minha vida.

À minha mãe, Rita de Cássia, pelo apoio e por acreditar nos meus sonhos.

À minha família, em especial, as minhas irmãs pelo carinho e torcida.

Ao meu orientador, professor Jorge Luiz Colodette, pela oportunidade, confiança, pela amizade e principalmente, pelos ensinamentos que contribuíram e contribuirão para meu crescimento profissional.

Ao Fernando Gomes e a Carolina Marangon pela coorientação.

Aos amigos, Adriana, Angélica, Armanda, Janaína, Marcela, Valéria, Guinter e Lucas, pela amizade e companhia nos momentos difíceis.

Às amigas e companheiras de república, Giovana, Gabi, Samantha, Vanessa e Virgínia pelo convívio diário, pelas risadas e torcida.

Aos funcionários e amigos do Laboratório de Celulose e Papel, pelo apoio e pela ajuda que muito contribuíram no desenvolvimento deste trabalho de dissertação.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela excelente qualidade de ensino prestado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Sociedade de Investigações Florestais (SIF), pelo apoio financeiro.

A todos que estiveram próximo a mim, por curtos ou longos momentos, e contribuíram para essa conquista.

Em especial ao meu sempre amado pai, Luís Vieira...

BIOGRAFIA

FERNANDA ROSA VIEIRA nasceu em 27 de junho de 1988, em Lajinha, Minas Gerais.

Em 2005, concluiu o 2º grau na Escola Estadual Henrique Coutinho, em Iúna, Espírito Santo.

Em 2007, iniciou o curso de Química, na Universidade Federal de Viçosa, sendo o mesmo concluído em Agosto de 2013.

Em Agosto de 2013, iniciou o Curso de Pós Graduação Profissionalizante em Tecnologia de Celulose e Papel, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo os requisitos necessários à obtenção do título de *Magister Scientiae* em Novembro de 2015.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	5
2.1. Material	5
2.2. Plano Experimental.....	5
2.3. Métodos	5
2.3. 1. Pré-hidrólise Kraft.....	5
2.3. 2. Cozimento Kraft.....	6
2.3. 3. Deslignificação com oxigênio.....	7
2.3. 4. Branqueamento Referência	7
2.3. 5. Branqueamento com ozônio à MC-Z.....	8
2.3. 6. Deslignificação com dióxido de cloro- D	8
2.3. 7. Extração alcalina com hipoclorito de sódio- EH.....	9
2.3. 8. Extração alcalina com peróxido de hidrogênio- EP	9
2.3. 9. Branqueamento com dióxido de cloro- D	10
2.3. 10. Branqueamento com peróxido de hidrogênio- P.....	10
2.3. 11. Procedimentos analíticos.....	11
2.3. 12. Instabilidade de Alvura	11
2.4. Análise Estatística	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
3.1. Pré- hidrólise e cozimento Kraft	12
3.2. Deslignificação com oxigênio.....	13
3.3. Otimização do estágio com ozônio- Z	15
3.4. Otimização do estágio Z/D.....	17
3.5. Branqueamento das polpas pelas sequências OZ(EH)P, OZ(EH)D, OZ(EP)P, OZ(EP)D e OZP	20
3.6. Branqueamento das polpas pelas sequências OZ/D(EH)P, OZ/D(EH)D, OZ/D(EP)P e OZ/D(EP)D.....	27
3.7. Qualidade das polpas para dissolução.....	32
4. CONCLUSÕES	36
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
ANEXOS	42

LISTA DE ABREVIATURAS

CAT - cloro ativo total

D - estágio de branqueamento com dióxido de cloro

DP - grau de polimerização

ECF – “*Elementary Chlorine Free*”

EH - extração com hipoclorito de sódio

EP - extração com peróxido de hidrogênio

H – estágio de branqueamento com hipoclorito de sódio

HW- “*Hardwood*”

HexA - ácido hexenurônico

MC - média consistência

NCP – número de cor posterior

O – estágio com oxigênio

P - estágio de branqueamento com peróxido de hidrogênio

PHK – Pré hidrólise Kraft

Q – estágio de branqueamento com quelante

SW – “*Softwood*”

TCF – “*Totally Chlorine Free*”

Z – Estágio de branqueamento com ozônio

RESUMO

VIEIRA, Fernanda Rosa, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Novembro de 2015. **Uso do ozônio no branqueamento de polpa de eucalipto para dissolução.** Orientador: Jorge Luiz Colodette. Coorientadores: Carolina Marangon Jardim e Fernando José Borges Gomes.

Para a produção de polpa celulósica para dissolução, os processos de pré-hidrólise Kraft (PHK) e branqueamento devem ser realizados de modo que se obtenham polpas com características especiais, como alta pureza, baixo nível de contaminantes inorgânicos, adequadas alvura e viscosidade. As polpas para a produção de viscose exigem viscosidade baixa, de modo que se possa aumentar a sua reatividade. Para obter tais viscosidades, se utilizavam sequências de branqueamento contendo um estágio de hipocloração (H), que sabidamente causa significativa degradação da celulose, com redução da viscosidade da polpa. Porém, é difícil justificar o uso de hipoclorito na atualidade em razão dos seus efeitos ambientais. Como alternativa tem-se o branqueamento com ozônio (Z). E este reagente utilizado em condições sábias é capaz de degradar as cadeias de celulose, de forma a reduzir a viscosidade da polpa a determinados valores. Dessa forma, um estudo detalhado sobre o estágio Z em diferentes sequências de branqueamento, surge como alternativa ao tradicional uso de hipoclorito. O objetivo desse estudo foi investigar sequências ECF e TCF de branqueamento, OZ(EH)P, OZ(EH)D, OZ(EP)P, OZ(EP)D, OZ/D(EH)P, OZ/D(EH)D, OZ/D(EP)P, OZ/D(EP)D e OZP, utilizando o estágio Z pós deslignificação com oxigênio (O) para a produção de polpa para dissolução de eucalipto, com vista à fabricação de viscose. Foram utilizadas amostras industriais de cavacos de eucalipto, os quais foram submetidos ao processo de PHK seguindo da deslignificação com oxigênio, as quais foram realizadas em condições padrões para gerar uma amostra de polpa não branqueada, com características típicas de polpa para dissolução. O estágio Z foi investigado em relação à carga de ozônio (3 e 4 kg/tas de O₃), pH (3,0, 4,0 e 5,0) e temperatura (55°C e 70°C). Os estágios subsequentes foram realizados em condições fixas e a sequência OD(EH)DPQ foi

utilizada como referência. As principais conclusões deste trabalho foram: (1) O estágio Z permite o controle da viscosidade na faixa de 450- 550 dm³/kg; (2) altos valores de alvura final foram alcançados utilizando o estágio Z (90-93% ISO); (3) as melhores sequências de branqueamento com base na viscosidade, alvura e reversão de alvura (NCP) foram OZ(EP)P e OZ(EP)D, sendo pH 3,0, 55°C e 3 kg/tas de O₃ a condição ótima do estágio Z ; (4) os parâmetros de qualidade da polpa para dissolução, grau viscose, foi alcançado, exceto para o conteúdo de sílica que foi maior que 50 ppm; (5) as sequências OZ(EP)P e OZ(EP)D se mostraram de menor consumo de ClO₂, com economia de 4,5 kg/tas de ClO₂ em comparação com a sequência referência OD(EH)DPQ.

ABSTRACT

VIEIRA, Fernanda Rosa, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, November 2015. **Ozone application in the dissolving pulp bleaching.** Advisor: Jorge Luiz Colodette. Co-advisors: Carolina Marangon Jardim and Fernando José Borges Gomes.

For the production of dissolving pulp, prehydrolysis kraft processes (PHK) and bleaching should be made so that they obtain pulps with special characteristics such as high purity, low level of inorganic contaminants, appropriate viscosity and brightness. The pulp for viscose production requires low viscosity, so that it can increase its reactivity. For such viscosities, it was used bleaching sequences containing a stage with hypochlorite (H), which is known to cause significant degradation of cellulose, reducing the viscosity of the pulp. However, it is difficult to justify the use of hypochlorite today because of their environmental effects. Alternatively, there is the ozone bleaching (Z), and this reagent is used in conditions wise able to degrade cellulose chains in order to reduce pulp viscosity to certain values. Thus, a detailed study of the Z stage in different bleaching sequences is an alternative to the traditional use of hypochlorite. Therefore this study aimed to investigate ECF and TCF bleaching sequence, OZ(EH)P, OZ(EH)D, OZ(EP)P, OZ(EP)D, OZ/D(EH)P, OZ/D(EH)D, OZ/D(EP)P, OZ/D(EP)D e OZP, using the Z stage after oxygen delignification (O) for the production of dissolving pulp for viscose. It was used samples of eucalyptus chips, PHK and oxygen delignification were performed under standard conditions to generate a non-bleached pulp sample, with typical characteristics of dissolving pulp. The Z stage was investigated regarding its ozone charge (3 and 4 kg/t of O₃), pH (3.0, 4.0 and 5.0) and temperature (55 °C and 70 °C). Subsequent stages were made in fixed conditions and the bleaching sequence OD(EH)DP was used as reference. The main findings of this paper were: (1) the Z-stage allows to viscosity pulp control in the range of 400-550 dm³/kg; (2) high brightness gains were achieved using Z-stage technology; (3) the best bleaching sequences based on viscosity, brightness and brightness reversion (NCP) were OZ(EP)P and OZ(EP)D, where pH 3.0, 55 °C and 3 kg/tas the optimal condition Z stage; (4) the quality parameters of the pulp, dissolving grade viscose has been reached, except for the contents of silica; (4) the sequences OZ(EP)D and OZ(EP)P showed a lower chlorine dioxide consumption, may save up 4.5 kg/t in comparison to the reference bleaching sequence.

1. INTRODUÇÃO

A principal finalidade do branqueamento de polpas celulósicas é atingir a alvura adequada para as exigências do mercado, pela remoção ou modificação de certos componentes responsáveis pela cor escura, tais como a lignina, extrativos, íons metálicos, grupos cromóforos e, no caso de branqueamento de polpa para dissolução, também a purificação da polpa pela remoção das hemiceluloses e o controle da sua viscosidade.

Segundo Sixta (2006), as polpas para a produção de viscose exigem viscosidade baixa ($400\text{-}550\text{ dm}^3/\text{kg}$), de modo que se possa aumentar a sua reatividade, pois durante o processo de derivatização e produção dos fios de viscose é necessário cadeias menores de carboidratos. Para obter tais viscosidades são utilizadas sequências de branqueamento que possuem estágios de branqueamento com hipoclorito.

O hipoclorito de sódio é um agente branqueador não seletivo, ele ataca a lignina assim como os carboidratos. No branqueamento de polpa para dissolução ele reduz a lignina residual, alveja a polpa e principalmente pode controlar a viscosidade e conseqüentemente o grau de polimerização dos carboidratos desejável ao uso final. O controle da viscosidade utilizando o hipoclorito é dependente do pH, normalmente o pH inicial do estágio com hipoclorito é em torno de 11,0, o elevado pH inicial é necessário para não ter a possibilidade do branqueamento ocorrer na presença de ácido hipocloroso (LONGUE JÚNIOR et al., 2015). Um estudo recente de Vieira & Colodette (2014), mostrou que o branqueamento próximo a 7,0 leva excessiva queda da viscosidade, além disso, o branqueamento com hipoclorito em pH 7,0 produz as álcalis celulosas, que envelhecem mais rapidamente no processo de produção de viscose. Em razão destes fatores, em geral o pH da hipocloração é controlado para terminar na faixa de 10,0, porém se a finalidade é ter baixas viscosidades, o pH final deve ser menor que 10,0.

Devido a pressões ambientais, o uso de hipoclorito no branqueamento de polpas para dissolução tem diminuído ao longo dos anos, e também de outros tipos de polpa, em razão da geração de clorofórmio e de outros compostos organoclorados.

Assim sendo, o branqueamento com ozônio (Z) aparece como um das poucas alternativas disponíveis para o controle da viscosidade de polpas para dissolução, sem efeitos negativos ao meio ambiente. Esse reagente utilizado em condições sábias é capaz de degradar as cadeias de celulose, de forma a reduzir a viscosidade da polpa a determinados valores (400- 550 dm³/kg) (DÖMSJO CELLULOSE, 2015), além de ser efetivo na purificação da polpa (remoção da lignina residual e de ácidos hexenurônicos). As propriedades deslignificante e alvejante do ozônio fazem dele um candidato portentoso para substituir ou diminuir o uso de reagentes de branqueamento à base de cloro. No caso do branqueamento convencional de polpas para dissolução, o ozônio pode substituir o hipoclorito (SIXTA et al., 2006).

Hoje em dia a escolha do ozônio ainda pode ser motivada por conferir as propriedades adequadas exigidas pelo mercado de polpas para dissolução, mas é principalmente justificada pela economia de custos, em consequência da redução de produtos químicos utilizados no branqueamento. Os investidores sempre estão em foco no retorno sobre o investimento, “*payback*,” e nos últimos anos tornou-se claro que as fábricas que utilizam o ozônio têm os custos de branqueamento reduzidos em torno de 20-32%, devido à introdução do estágio de ozônio (CARRÉ et al., 2005; VEHMAA et al., 2007; MÉTAIS, 2011). Ainda, a aplicação do ozônio resulta numa redução do consumo de vapor durante o processo de branqueamento. O “*payback*” da substituição de um estágio com dióxido de cloro por um estágio Z é obtido em torno de 2 a 4 anos (VEHMAA et al., 2007). No Quadro 1 está apresentado as principais sequências de branqueamento oque utilizam ozônio e muitas delas é para a produção de polpa para dissolução.

Quadro 1. Branqueamentos com ozônio no mundo para polpa solúvel e polpa de mercado

Fábrica	País	Processo	Espécie	Sequência	Produ. adt/dia	Início
Lenzing	Áustria	Sulfito	HW	(EPO)ZP	800	1992
UPM	Finlândia	Kraft	HW/ SW	A _{hot} Z/D(EPO) Z/DP	1200	1993
Sappi	África do Sul	Kraft	HW	DZ(EPO)D	700	1994
SCA	Suécia	Kraft	SW	Q(PO)Z(PO)	1250	1995
BSC	Brasil	Kraft	HW	AZP	400	1996
IP	Brasil	Kraft	HW	ZD(EPO)D	1150	1997
Fibria	Brasil	Kraft	HW	Linha B: AZDP	1200	1997
				Linha C: ZDP	2200	2002
New Page	EUA	Kraft	HW	Z(EPO)DD	700	1997
Rosentha	Alemanha	Kraft	SW	Q(PO)DZ(PO)	1000	1999
Burgo	Bélgica	Kraft	HW	DZ(EPO)DD	1100	2000
Nippon Paper	Japão	Kraft	HW	Z/D(EP)D	520	2000
Oji Paper	Japão	Kraft	HW	ZEPD	700	2002
Nippon Paper	Japão	Kraft	HW	A _{hot} Z/D(EPO)D	600	2003
Oji Paper	Japão	Kraft	HW/SW	PxZ/D(EPO)D	900	2005
Marusumi	Japão	Kraft	HW	Z/D(EPO)DD	700	2006
Dalo Paper	Japão	Kraft	HW	A _{hot} (Ze)PD	1600	2006
Sniace	Espanha	Sulfito	HW	(ZE)P	240	2007
Nippon Paper	Austrália	Kraft	HW	ZD(EPO)D	700	2007

Fonte: Revista Paper 360, Outubro 2013.

Diante desta conjuntura, o branqueamento com ozônio para produção de polpa para dissolução é uma tecnologia promissora e avançada visto que sua adição no branqueamento pode produzir polpas com as seguintes características: Altos valores de alvura (92-93%), baixos valores da reversão de alvura, baixo teor de extrativos, controle preciso da viscosidade na produção de polpa para viscose, (CARRÉ et al., 2005; GARTLEY, 2002).

O ozônio, por ser um poderoso agente oxidante, é capaz de oxidar todos os tipos de lignina. No entanto, ele pode oxidar cadeias de celulose também, formando grupos carbonílicos e carboxílicos. Depois de um tratamento alcalino, estes grupos podem clivar as cadeias de celulose, resultando em polpas com baixa viscosidade. Por isso, ozônio é utilizado no começo das sequências de branqueamento, onde a polpa ozonizada será subsequentemente tratada com um estágio alcalino. O fato da polpa conter um maior conteúdo de lignina no início da sequência é favorável, pois evita degradação excessiva dos carboidratos, já que a lignina compete com os carboidratos pelo ozônio; outra forma de evitar degradação excessiva é pelo uso de baixas dosagens de ozônio (TOVEN et al., 2002).

A utilização de um estágio de dióxido de cloro imediatamente após um estágio de ozônio, sem lavagem entre estágios, oxida parte das carbonilas geradas nos carboidratos pela ação do ozônio, melhorando assim a seletividade desse reagente e evitando degradação excessiva da polpa nesta etapa (SONNEMBERG et al., 1996). Desta maneira, a combinação Z/D é também muito atrativa para o branqueamento de polpa para dissolução.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi explorar o uso do ozônio e também seu uso combinado com dióxido de cloro, aperfeiçoando as variáveis operacionais do estágio Z como pH, temperatura e carga de ozônio além do estudo da influência da extração alcalina com peróxido de hidrogênio e com hipoclorito pós Z na qualidade da polpa. Foram estudadas nove diferentes sequências de branqueamento, OZ(EH)P, OZ(EH)D, OZ(EP)P, OZ(EP)D, OZ/D(EH)P, OZ/D(EH)D, OZ(EP)P, OZ/D(EP)D e OZP a fim de produzir polpas para dissolução de eucalipto para o mercado de viscose

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Material

Como matéria prima para a obtenção de polpa celulósica, foram utilizados cavacos industriais de eucalipto cedidos por uma empresa nacional produtora de polpa para dissolução.

2.2. Plano Experimental

O organograma mostrado na Figura 1 ilustra o plano experimental.

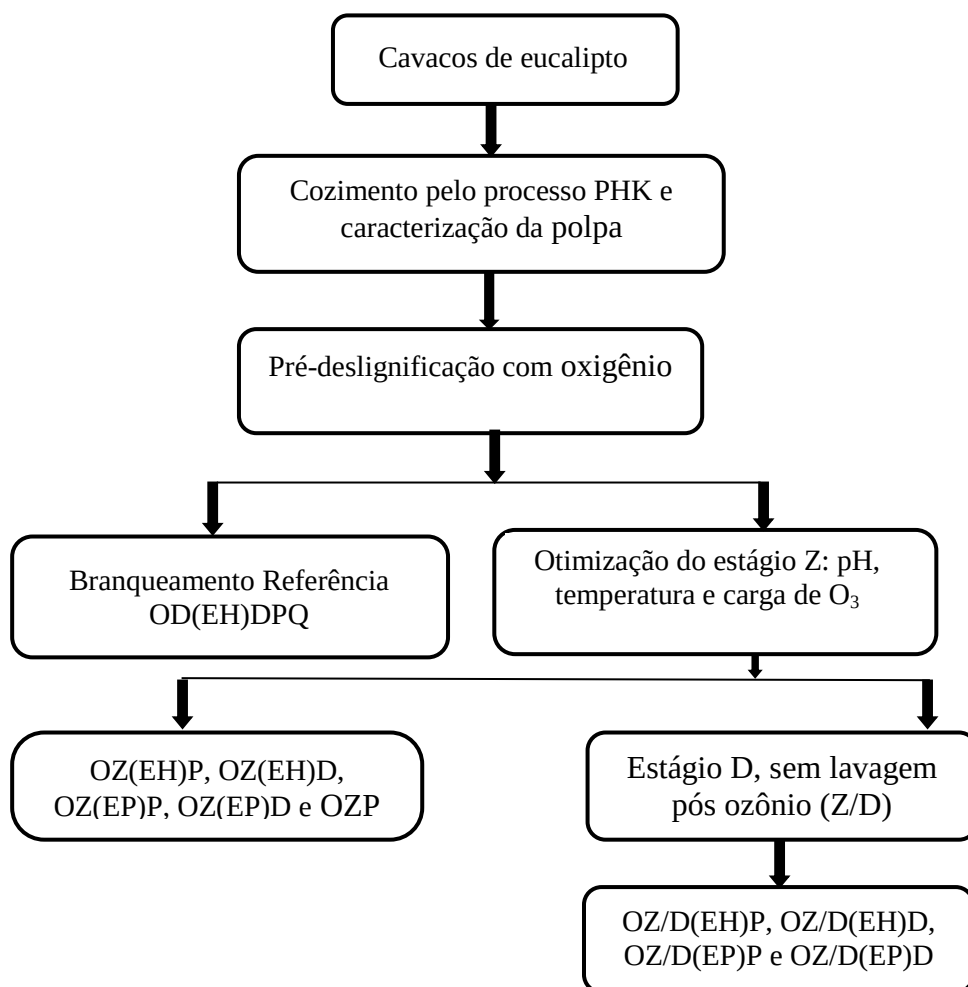


Figura 1. Esquema experimental do estudo realizado.

2.3. Métodos

2.3.1. Pré-hidrólise Kraft

O tratamento de pré-hidrólise foi realizado em um reator Paar utilizando apenas água e cavacos aquecidos eletricamente por meio de controladores

eletrônicos e dotado de manômetro, sensor de temperatura, trocador de calor e bomba de circulação. No Quadro 2 estão apresentadas as condições utilizadas no tratamento da pré-hidrólise. Ao final do tratamento foi coletado o licor residual para análises e os cavacos foram imediatamente processados pelo processo Kraft.

Quadro 2. Condições utilizadas no tratamento de pré-hidrólise

Massa dos cavacos, g	500
Licor/Madeira, m ³ /t	4/1
Temperatura Máxima, °C	170
Tempo até temperatura, min	90
Tempo à temperatura, min	15

2.3.2. Cozimento Kraft

Os cozimentos foram realizados em duplicata logo após a etapa de pré-hidrólise. Para isto, o licor da pré-hidrólise foi retirado e o licor Kraft foi injetado por meio de um vaso acumulador com pressão de nitrogênio. Após o cozimento, a polpa foi retirada do digestor e lavada com água em abundância à temperatura ambiente utilizando uma caixa de aço inox com peneira de 150 *mesh* ao fundo para remoção do álcali residual. A polpa após lavagem, desfibramento e depuração foi desaguada em uma centrífuga a uma consistência de 30 a 35% e armazenada em saco de polietileno. No Quadro 3 estão apresentadas as condições utilizadas no cozimento Kraft.

Quadro 3. Condições utilizadas no cozimento Kraft para Kappa 8-10

Licor/Madeira, m ³ /t	4/1
Temperatura Máxima, °C	162
Tempo até temperatura, min	60
Tempo à temperatura, min	45
Álcali Efetivo como NaOH, %	27
Sulfidez, %	18

2.3.3. Deslignificação com Oxigênio – (O)

A deslignificação com oxigênio foi efetuada num reator/misturador modelo Mark V (Quantum Technologies Inc.) com amostras de 250 gramas de polpa absolutamente seca. A polpa foi depositada no reator na consistência estabelecida e aquecida até a temperatura desejada. Atingida a temperatura, e sob o efeito de agitação constante, foram injetadas as cargas estabelecidas de NaOH ao sistema, elevando-se a pressão de reação com O₂ até o valor de carga desejada e completando com N₂. Terminado o tempo total de reação, foram extraídas amostras do licor residual para análises de pH. A polpa foi transferida para o descarregador de polpa e então lavada com 9 m³ de água destilada por tonelada de polpa seca. Todos os procedimentos foram efetuados com duas repetições. As condições operacionais da deslignificação com oxigênio estão apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4. Condições operacionais da deslignificação com oxigênio

Consistência, %	12
Tempo de reação, min	75
Temperatura, °C	105
Pressão, kPa	600
O ₂ , kg/tas	18
NaOH, kg/tas	22

2.3.4. Branqueamento Referência

Foi realizado um branqueamento de referência, utilizado em uma fábrica brasileira de polpa para dissolução pela sequência OD(EH)DPQ com as condições descritas no Quadro 5.

Quadro 5. Condições utilizadas no branqueamento referência

Condições	Estágios de Branqueamento				
	D	(EH)	D	P	Q
Consistência, %	12	12	12	12	12
Tempo, min	50	90	280	180	90
Temperatura, °C	65	70	75	75	75
ClO ₂ como Cl ₂ , kg/tas	16,0	-	2	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4,0	-
NaClO, kg/tas	-	4,0	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	-	-	6,0	-
EDTA, kg/tas	-	-	-	-	2,0
pH inicial	-	-	-	-	5,5
pH final	3,0	7,0	5,5	10,5	-

2.3.5. Branqueamento com Ozônio em média consistência (MC) – (Z)

O branqueamento com ozônio foi efetuado em média consistência, 12%, no sistema Quantum Mark-V/Ozone Cart, com amostras de 230 gramas absolutamente secas de polpa, à temperatura de 55°C e 70°C, pH inicial de 3,0, 4,0 e 5,0 e tempo de reação variável (2-4 min), para cargas de 3 e 4 kg/tas. A amostra foi acidificada com ácido sulfúrico e a dosagem desejada de ozônio foi comprimida para o reator através do Ozone Cart. A concentração do ozônio injetado foi monitorada continuamente através de um sistema utilizando luz ultravioleta. Após o término da reação, a pressão do reator foi liberada e os gases coletados em solução de KI 5%, para determinação do residual de ozônio e outras análises do licor. O ozônio consumido pela polpa foi determinado pela diferença entre ozônio aplicado e o residual. No caso do estágio Z/D, as amostras foram colocadas em sacos de polietileno, nas condições apresentadas no apêndice e foi feito o estágio D seguindo a metodologia do item 2.3. 6. Ao final do estágio Z, a polpa foi lavada com o equivalente a 9 m³ de água destilada por tonelada de polpa seca. Estas etapas foram efetuadas em duplicata.

2.3.6. Deslignificação com dióxido de cloro – (D)

A deslignificação com dióxido de cloro a quente foi efetuado em sacos de

polietileno com amostras de 230 gramas de polpa absolutamente secas, nas condições apresentadas no apêndice. O licor de branqueamento contendo ClO_2 , H_2SO_4 e H_2O foram adicionados à polpa em temperatura ambiente. Após mistura manual, em sacos de polietileno, o material foi transferido para um banho de vapor com controle de temperatura, onde foi mantido pelo tempo pré-estabelecido. Terminada a reação, foram extraídas amostras de licor residual para análises de pH e residual de ClO_2 . A polpa foi então lavada com o equivalente a 9 m^3 de água destilada por tonelada de polpa seca. Estas etapas foram efetuadas em duplicata.

2.3.7. Extração alcalina com hipoclorito de sódio - (EH)

A extração alcalina com hipoclorito de sódio foi efetuada em sacos de polietileno com amostras de 100g de polpa absolutamente seca, nas condições apresentadas no apêndice. O licor de branqueamento contendo H_2O_2 , NaOH e H_2O foram adicionados à polpa em temperatura ambiente. Após mistura manual, em sacos de polietileno, o material foi aquecido em forno de microondas até a temperatura desejada e transferido para um banho de vapor com controle de temperatura, onde foi mantido pelo tempo pré-estabelecido. Terminada a reação, foram extraídas amostras do licor residual, para análises de pH e residual de NaClO . A polpa foi então lavada com o equivalente a 9 m^3 de água destilada por tonelada de polpa seca. Estas etapas foram efetuadas em duplicata. As condições utilizadas no estágio foram: 4 kg/tas de NaClO , 55°C, 90 min, 10 % de consistência, pH final 7,0.

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

A extração alcalina reforçada com peróxido de hidrogênio será efetuada em sacos de polietileno com amostras de 100g de polpa absolutamente seca, nas condições apresentadas no apêndice. O licor de branqueamento contendo H_2O_2 , NaOH e H_2O , foi adicionado à polpa em temperatura ambiente. Após mistura manual, em sacos de polietileno, o material foi aquecido em forno de microondas até a temperatura desejada e transferido para um banho de vapor com controle de temperatura, onde foi mantido pelo tempo pré-estabelecido. Terminada a reação, foram extraídas amostras do licor residual, para análises de pH e residual de H_2O_2 . A polpa foi então lavada com o equivalente a 9 m^3 de água destilada por tonelada de polpa seca. Estas etapas foram efetuadas em duplicata. As condições utilizadas

no estágio foram: 4 kg/tas de H_2O_2 , 70°C, 180 min, 10 % de consistência, pH final de 10,5 -11,0.

2.3.9. Branqueamento com dióxido de cloro - (D)

O branqueamento com dióxido de cloro foi efetuado em sacos de polietileno com amostras de 45 gramas de polpa absolutamente secas, nas condições apresentadas no apêndice. O licor de branqueamento contendo ClO_2 , H_2O e H_2SO_4 foi adicionado à polpa em temperatura ambiente. Após mistura manual, em sacos de polietileno, o material foi aquecido em forno de microondas até a temperatura desejada e transferido para um banho de vapor com controle de temperatura, onde foi mantido pelo tempo pré-estabelecido. Terminada a reação, foram extraídas amostras de licor residual para análises de pH e residual de ClO_2 . A polpa foi então lavada com o equivalente a 9 m³ de água destilada por tonelada de polpa seca. Estas etapas foram efetuadas em duplicata. As condições utilizadas no estágio D final foram: 12% consistência, 180 min, 80°C, pH final de 5,5 e dosagem de ClO_2 variável.

2.3.10. Branqueamento com peróxido de hidrogênio - (P)

O branqueamento com peróxido de hidrogênio foi efetuado em sacos de polietileno com amostras de 45 gramas de polpa absolutamente seca, nas condições apresentadas no apêndice. O licor de branqueamento contendo H_2O_2 , NaOH, H_2O foi adicionado a polpa. Após mistura manual, em sacos de polietileno, o material foi aquecido em forno de microondas até a temperatura desejada e transferido para um banho de vapor com controle de temperatura, onde foi mantido pelo tempo pré-estabelecido. Terminada a reação, foram extraídas amostras do licor residual, para análises de pH e residual de H_2O_2 . A polpa foi então lavada com o equivalente a 9 m³ de água destilada por tonelada de polpa seca. Estas etapas foram efetuadas em duplicata. As condições utilizadas no estágio P final foram: 2 kg/tas de H_2O_2 , 12% consistência, 180 min, 75 °C, pH final de 11,0. No caso, do branqueamento TCF, OZP, o estágio P final foi realizado nas seguintes condições: 20 kg/tas de H_2O_2 , 10% consistência, 85 °C, 120 min, pH final de 10,5- 11,0.

2.3.11. Procedimentos Analíticos

Os procedimentos analíticos empregados estão descritos no Quadro 6.

Quadro 6 . Procedimentos analíticos utilizados para análise da polpa e licores residuais do branqueamento

Parâmetros	Norma do procedimento
Polpa	
Formação manual de folhinhas	TAPPI T 218 sp- 97
Número kappa	TAPPI T 236 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
Teor de ácidos Hexenurônicos	TAPPI T282 pm-07
Teor de carbonilas (número de cobre)	TAPPI T430 om-94
Teor de xilanas	HPLC – Método Wallis <i>et al.</i> (1996) depois da hidrólise ácida de acordo com TAPPI T249
Teor de pentosanas	ABCP C 8/70
Alfa-celulose	TAPPI 203 om-93
S10 e S18	TAPPI 235 cm-85
Metais na polpa	TAPPI 266 om-94
Sílica	TAPPI 245 om-94
OX	Scan W 9:89
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

2.3.12. Instabilidade de alvura

A instabilidade de alvura foi expressa pela reversão de alvura e pelo número de cor posterior (NCP). O NCP foi obtido comparando-se as relações entre os coeficientes de absorção e de dispersão da luz, antes e após a reversão da alvura (Equação 1), calculado conforme Tappi TIS 017-10.

$$NCP = \left[\left(\frac{K}{S} \right)_{DEPOIS} - \left(\frac{K}{S} \right)_{ANTES} \right] * 100 \quad (1)$$

Onde:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R}$$

R = Alvura;

K = Coeficiente de absorção de luz; e

S = Coeficiente de dispersão de luz

2.4. Análise estatística

As análises estatísticas dos dados experimentais foram realizadas com auxílio dos softwares Statistica 8 e Microsoft Office Excel 2007. Os dados da otimização do estágio Z e dos branqueamentos foram analisados por meio de análises de regressão linear, conforme metodologia apresentada por REGAZZI e SILVA (2004). Inicialmente, testa-se as hipóteses: a) Aceita-se H_0 , onde as médias das amostras analisadas são iguais, ou seja, não existe diferença significativa entre os tratamentos, podendo gerar uma curva média entre as amostras e b) Rejeita-se H_0 , onde existe ao mínimo uma média estatisticamente distinta das demais. As equações ajustadas foram comparadas entre si pelo teste F, sendo utilizado o teste de identidade de modelos ao nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Polpação pré-hidrólise Kraft

Os resultados obtidos no processo de pré-hidrólise e cozimento Kraft (polpação PHK) estão apresentados no Quadro 7. A caracterização da polpa obtida é apresentada no Quadro 8. A perda de material no tratamento de pré-hidrólise (10,2%), i.e., rendimento de 89,8% está relacionado principalmente à perda de carboidratos presente na madeira. O pH final de 2,5 alcançado no tratamento de pré-hidrólise deve-se a desacetilação das xilanas, com formação de ácido acético. Essa condição ácida do sistema promove a hidrólise das xilanas resultando em perda significativa desses carboidratos de baixo peso molecular e, consequentemente, do rendimento (SIXTA et al., 2006).

O rendimento total da polpação Kraft (rendimento depurado) foi de 38,8%, base peso seco dos cavacos pré-hidrolisados. Vale notar que o rendimento total, incluindo o rendimento da pré-hidrólise mais o rendimento do cozimento Kraft foi

mais baixo, 38,8%. Um estudo de Longue Júnior & Colodette (2011), avaliando a remoção de hemiceluloses no processo de PHK, comparou o rendimento da polpação Kraft sem o tratamento de pré- hidrólise, obtendo um rendimento de 50,9 % com valores de rendimento do processo de PHK na faixa de 44,9 - 45,3%. Portanto, verifica-se que a remoção de hemiceluloses da madeira diminui o rendimento da polpação Kraft subsequente.

Quadro 7. Resultados dos tratamentos de hidrólise e cozimento Kraft para obter um número Kappa entre 8-10

Parâmetros	Pré-hidrólise	Cozimento Kraft
pH final	2,5	13,5
Álcali efetivo residual, g/l	-	18,3
Rendimento, %	89,8	38,8*

No Quadro 8 são apresentadas as principais características da polpa após PHK que foi utilizada nos estudos de branqueamento.

Quadro 8. Características da polpa PHK utilizada nos estudos de branqueamento.

Parâmetros	Média
Alvura, % ISO	45,9
Número Kappa	8,9
Viscosidade, dm ³ /kg	1040
Ácidos hexenurônicos, mmol/kg	2,6
Pentosanas, %	2,98
Xilanas, %	2,38
Ca, ppm	35,5
Fe, ppm	8,9
Mg, ppm	15,6
Mn, ppm	1,9
SiO ₂ , ppm	157

3.2. Deslignificação com oxigênio

O resultado da deslignificação com oxigênio está apresentado no Quadro 9. O desempenho do estágio de deslignificação com oxigênio foi medido pela eficiência na redução do número Kappa e ganho de alvura da polpa. Houve uma grande redução do número Kappa (68,5%). Consequentemente, houve

considerável ganho de alvura (15,9 % ISO). Este fato pode ser associado à remoção das hemiceluloses pelo processo PHK, levando a clivagem dos complexos lignina-carboidrato (LCC), facilitando assim a remoção da lignina na operação subsequente de deslignificação com oxigênio (PEKKALA, 1985). Outra contribuição para essa alta eficiência comparado a deslignificação com oxigênio de polpas Kraft convencionais é devido às polpas apresentarem baixo conteúdo de HexA. Como a eficiência está relacionada ao número Kappa, e este contabiliza a lignina residual mais HexA. Durante a deslignificação, o decréscimo do Kappa ocorre devido à reação do oxigênio com a lignina, pois os HexAs não reagem com oxigênio e não contribuem para a redução do número Kappa (VUORINEN et al., 1996). Notar, que processos de deslignificação com oxigênio, para polpas Kraft convencionais de eucalipto, i.e., polpas para papel, resultam em eficiências da ordem de 30-40% apenas, mas estas polpas possuem teores de HexA da ordem de 60 mmol/kg (VENTORIM et al., 2006). A polpa para dissolução desse estudo possuía apenas 2,6 mmol HexA/kg (Quadro 8).

Além disso, houve um decréscimo considerável da viscosidade, esta pode ser explicada pelo fato de que as hemiceluloses (especialmente xilanas) atuam como protetoras da viscosidade para a celulose, mas como estas foram retiradas no tratamento de pré-hidrólise, as espécies ativas do oxigênio e do NaOH reagem com as cadeias de celulose (SIXTA et al., 2006).

Quadro 9. Resultado da deslignificação com oxigênio da polpa PHK

Parâmetros	Média
pH Final	11,7
Alvura, % ISO	61,8
Número Kappa	2,8
Viscosidade, dm ³ /kg	763
Queda da Viscosidade, dm ³ /kg	277
Eficiência, %	68,5
Ganho de Alvura, % ISO	15,9

3.3. Otimização do estágio com ozônio (Z)

O estágio Z foi otimizado em duas temperaturas (55°C e 70°C), três valores de pH (3,0; 4,0 e 5,0) e duas cargas de ozônio (3 e 4 kg O₃/tas), na consistência fixa de 12%. Nas Figuras 2-4 estão apresentados os resultados do desempenho do estágio Z, medido pelos comportamentos da viscosidade, da alvura e do número Kappa da polpa. As equações de regressão que modelaram os efeitos da temperatura, carga de ozônio e pH sobre a viscosidade, alvura e número Kappa da polpa, medidos após o estágio Z estão apresentadas no Quadro 10.

Constatou-se que o aumento da temperatura de reação juntamente com aumento do pH contribuiu para uma viscosidade menor (Fig. 2). Como o estágio foi feito em média consistência, 12%, sabe-se que o ozônio tem uma tendência em se decompor em meio aquoso, gerando muitas espécies não seletivas tais como radicais livres (SIXTA et al., 2006). A queda da viscosidade com aumento do pH pode ser explicado pelo fato de que em meio aquoso, os íons hidroxilas catalisam a decomposição do ozônio, promovendo a formação de radicais hidroxila (OH[•]) e perhidroxila (HO₂[•]), sendo os responsáveis pela degradação da celulose (STAEHELIN et al., 1982; STAEHELIN et al., 1984). Além disso, o pH afeta a eficiência da deslignificação, observa-se na Figura 4 um aumento do número Kappa com o aumento do pH. Lindholm (1987) encontrou resultados similares e propuseram que a remoção da lignina é maior quando o estágio é realizado em pH menor que 3,0.

Observa-se ainda uma tendência da viscosidade diminuir e aumentar o número Kappa com aumento da temperatura de 55°C para 70°C. Muitos estudos, dentre eles Chandra et al., (1985) e Pan (1984) concluíram que o aumento da temperatura durante a ozonização prejudica a eficiência e a seletividade da deslignificação. Segundo um estudo de Sixta et al., 2006 uma polpa Kraft softwood com sequência OZ(EOP), onde o estágio Z foi realizado em média consistência, o número Kappa desta polpa diminuiu substancialmente quando realizado a 30°C comparado com o de 50°C.

Na Figura 3 verifica-se uma tendência da alvura diminuir quando se aumenta o pH e a temperatura de 55°C para 70°C. Como o aumento da alvura é uma consequência da purificação da polpa (remoção da lignina), Chirat et.al,1994 e Sixta mostraram que a eficiência da deslignificação diminui quando se aumenta o pH e temperatura, resultando em polpas com alvuras menores. Observa-se também que a carga de 4kg de O₃/tas provocou um maior decréscimo da

viscosidade e um ligeiro aumento da alvura. Levando em consideração a qualidade do branqueamento da polpa medido pela viscosidade e alvura e os custos do branqueamento, foi concluído que a carga de 3 kg de O_3 /tas atende melhor o branqueamento da polpa para dissolução em questão.

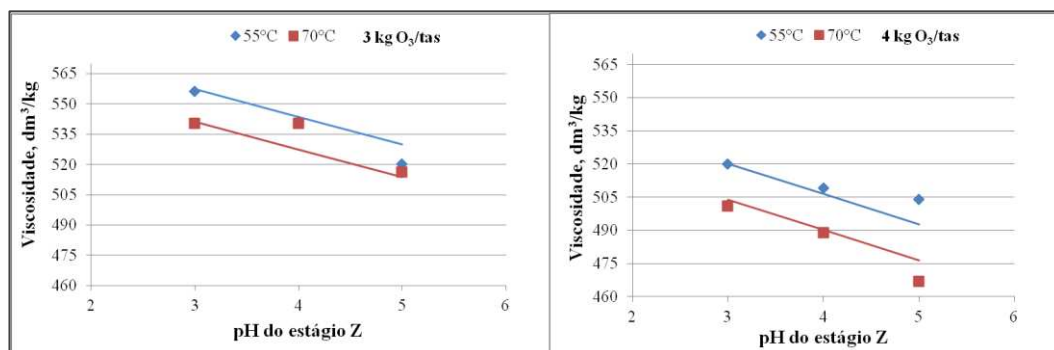


Figura 2. Efeito da temperatura e do pH do estágio Z na viscosidade da polpa utilizando duas cargas de ozônio, 3 e 4 kg/tas.

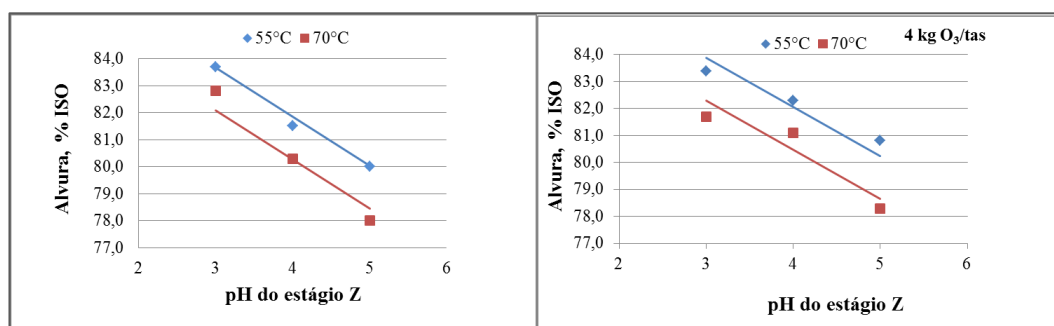


Figura 3. Efeito da temperatura e do pH do estágio Z na alvura utilizando duas cargas de ozônio, 3 e 4 kg/tas.

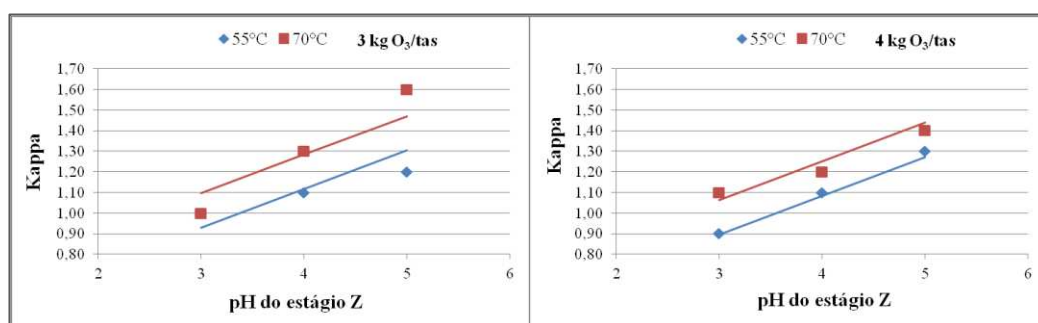


Figura 4. Efeito da temperatura e do pH do estágio Z no número Kappa utilizando duas cargas de ozônio, 3 e 4kg/tas.

Quadro 10. Equações de regressão ajustadas para viscosidade, alvura e número Kappa da polpa medidos após o estágio Z

Equações ajustadas	R ²	R ² _{ajust.} (%)
$Y_{\text{viscosidade}} = \text{Temp}(-1,07778) + \text{O}_3(-37,1667) + \text{pH}(-13,75) + 769,3611$	92,7	90,0
$Y_{\text{alvura}} = \text{Temp}(-0,10556) + \text{O}_3(0,216667) + \text{pH}(-1,8125) + 94,24722$	93,6	91,3
$Y_{\text{kappa}} = \text{Temp}(0,011111) + \text{O}_3(-0,03333) + \text{pH}(0,1875) - 0,14444$	88,3	83,9

Temperatura (Temp), carga de ozônio (O₃), pH do estágio (pH)

Ns- não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

*- Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

No Quadro 10 são apresentados às curvas de regressão ajustadas da otimização do estágio Z. Estatisticamente, pelos coeficientes de determinação (R² ajustado), a viscosidade, alvura e Kappa são explicados 90%, 91,3% e 83,9 %, respectivamente, pelas variações de pH e temperatura. A carga de ozônio não foi significativa pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

3.4. Otimização do estágio Z/D

Para o estudo do estágio Z/D, o estágio Z foi realizado em duas temperaturas (55 °C e 70 °C), três valores de pH (3,0; 4,0 e 5,0) e duas cargas de ozônio (3 e 4 kg O₃/tas), na consistência fixa de 12%. Imediatamente após os tratamentos com ozônio a polpa foi branqueada com dióxido de cloro (D) em condições fixas (5 kg ClO₂/tas, 15 min, 55°C para Z realizado a 55 °C e 70 °C para Z realizado a 70 °C). Nas Figuras 5-7 estão apresentados os resultados do desempenho do estágio Z/D, medido pelo comportamento da viscosidade, da alvura e do número Kappa da polpa, medidos após o tratamento Z/D. As equações de regressão para avaliar o efeito da temperatura, carga de ozônio e pH sobre a viscosidade, alvura e Kappa do estágio Z/D estão apresentadas no Quadro 11.

Um dos objetivos deste trabalho foi explorar os efeitos do estágio Z/D no branqueamento de polpa para dissolução. Na Figura 5 observa-se que o aumento da temperatura juntamente com aumento do pH contribui para a queda de viscosidade da polpa pós Z/D. A queda da viscosidade foi mais significativa utilizando o estágio Z/D em relação ao Z (Fig. 2 *versus* Fig. 5). É bem reportado na literatura que o branqueamento com ozônio quando operado em pH maior que 3,0, ocorre significativa decomposição do ozônio, catalisada pelo íons OH⁻,

resultando principalmente em perda da seletividade deste reagente (LIBERGROOT et al., 1992; COLODETTE et al., 1993; ZHANG, et al., 1999; BAJPAI, 2012). A perda de seletividade deriva do ataque aos carboidratos causado pelos radicais livres ($\text{HOO}\cdot$, $\text{HO}\cdot$) (LINO et al., 2015).

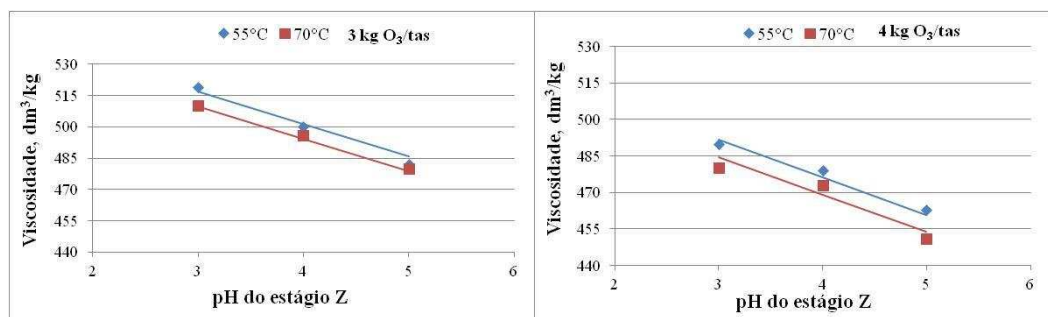


Figura 5. Efeito da temperatura e do pH do estágio Z na viscosidade da polpa mediada após Z/D, utilizando duas cargas de O₃, 3 e 4 kg/tas e D com 5 kg ClO₂/tas, 55°C (com Z à 55°C) e 70°C (com Z à 70°C).

Maiores alvuras foram obtidas com o branqueamento Z/D, um aumento de 3-5% ISO, comparado com o branqueamento utilizando somente o estágio Z (Fig. 3 *versus* Fig 6), esse ganho de alvura se deve a eficiente deslignificação do uso combinado dos reagentes ozônio e dióxido de cloro.

Na Figura 6 verifica-se um decréscimo de alvura quando se aumenta o pH. Como o aumento da alvura é uma consequência da purificação da polpa (remoção da lignina), estudos mostraram que a eficiência da deslignificação diminui quando se aumenta o pH, resultando em polpas com alvuras menores (SIXTA et al., 2006).

Já o aumento da temperatura de 55 °C para 70 °C do estágio D pós Z, teve um efeito positivo no ganho de alvura. A melhoria de alvura causada pelo aumento de temperatura está relacionada ao aumento do consumo de dióxido e às reações do dióxido com a lignina (SUESS; MOODLEY, 2005). No caso do estágio do estágio D, o tempo de reação curto juntamente com a temperatura baixa, 55 °C, grande parte do dióxido de cloro aplicado não foi consumido, conseqüentemente este não reagiu com a lignina, resultando em alvuras menores comparado com o estágio realizado a 70 °C.

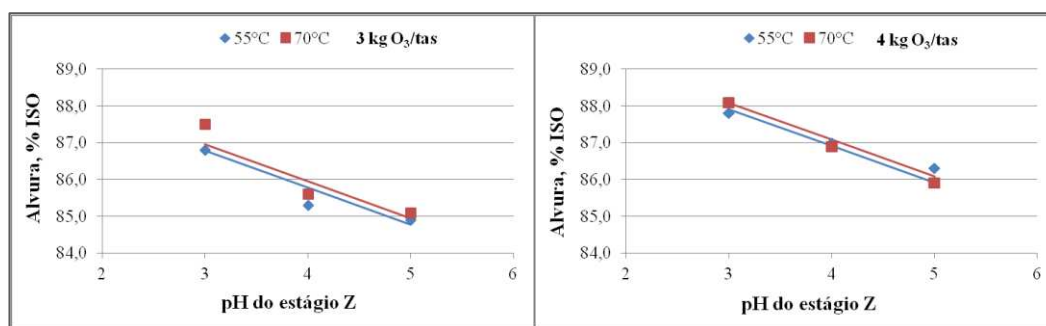


Figura 6. Efeito da temperatura e do pH do estágio Z na alvura, medida após o estágio Z/D, utilizando duas cargas de O₃, 3 e 4 kg/tas e D com 5 kg ClO₂/tas, 55°C (com Z à 55°C) e 70°C (com Z à 70°C).

Observa-se na Figura 7, que os valores do número Kappa são menores quando comparado com os resultados do número Kappa do estágio Z puro (Fig. 4 *versus* Fig. 7). A eficiente deslignificação é devido aos efeitos complementares que o ozônio e o dióxido de cloro têm sobre a lignina, degradando praticamente todas as suas subestruturas durante o branqueamento (TOVEN, 2000 & TOVEN et al., 2015). Porém, a carga de dióxido de cloro (5 kg/tas) utilizada foi alta para este tratamento, resultando em um grande residual de dióxido de cloro. Sabe-se que um aumento da quantidade de ClO₂ acima do desejável não é considerado eficaz, pois tem pouco efeito sobre o número Kappa e aumenta a quantidade de residual (BATALHA et al., 2015)

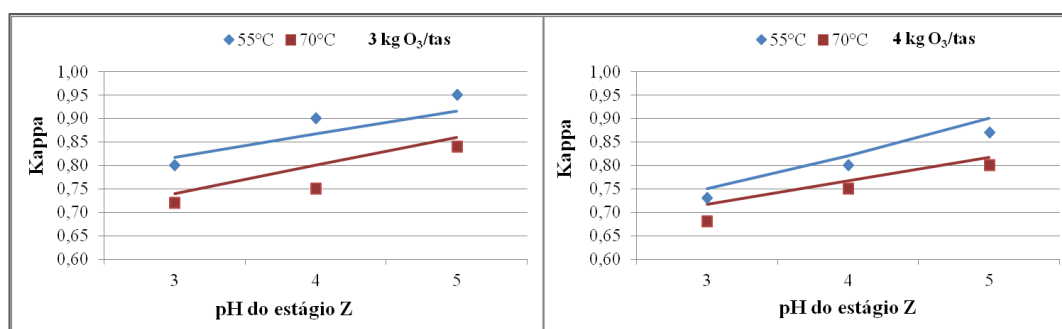


Figura 7. Efeito da temperatura e do pH do estágio Z no número Kappa, medido após o estágio Z/D, utilizando duas cargas de O₃, 3 e 4 kg/tas e D com 5 kg ClO₂/tas, 55°C (com Z à 55°C) e 70°C (com Z à 70°C).

Quadro 11. Equações de regressão ajustadas para viscosidade, alvura e Kappa do estágio Z/D

Equações ajustadas	R ²	R ² _{ajust. (%)}
$Y_{\text{viscosidade}} = \text{Temp}(-0,478) + *O_3(-25,16) + *pH(-15,38) + 664,694$	97,9	97,1
$Y_{\text{alvura}} = {}^{ns}\text{Temp}(0,011111) + *O_3(1,133333) + *pH(-1,0) + 85,77222$	92,8	90,1
$Y_{\text{kappa}} = {}^{ns}\text{Temp}(-0,00075) + *O_3(-0,100) + *pH(0,050) + 0,9667$	92,8	90,1

Temperatura (Temp), carga de ozônio (O₃), pH do estágio (pH)

Ns- não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

*- Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

No Quadro 11 são apresentados às curvas de regressão ajustadas da otimização do estágio Z. Estatisticamente, pelos coeficientes de determinação (R² ajustado), a viscosidade do estágio Z/D é explicada 97,1%, pelas variações de pH, temperatura e carga de ozônio. Para alvura e Kappa, os resultados são influenciados pela carga de ozônio e pH. Já a temperatura do estágio Z não foi significativa pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade, isso se deve a influencia do estágio D posterior ao estágio Z sem lavagem.

3.5. Branqueamento das polpas pelas sequências OZ(EH)P, OZ(EH)D, OZ(EP)P, OZ(EP)D e OZP

Procurando investigar melhor o branqueamento de polpa solúvel com sequências contendo ozônio, foram utilizadas cinco sequências de branqueamento OZ(EH)P, OZ(EH)D, OZ(EP)P, OZ(EP)D e OZP em condições pré-estabelecidas, buscando alcançar alvura de 90% ISO. As condições de branqueamento foram mantidas constantes, variando-se apenas as dosagens de reagentes para se alcançar a alvura objetivo. Para a análise do desempenho das várias sequências de branqueamento foram analisadas a viscosidade final, alvura final e reversão de alvura medida pelo número de cor posterior, de todas as polpas branqueadas. Os resultados estão apresentados nas Figuras 8-11. As equações de regressão para avaliar o efeito da temperatura, carga de ozônio e pH do estágio Z sobre a viscosidade, alvura e NCP das polpas produzidas pelas sequências avaliadas estão apresentadas nos Quadros 12-15.

Observa-se na Figura 8 que o aumento do pH e da temperatura do estágio Z afetou negativamente a viscosidade final das polpas branqueadas por todas as

seqüências de branqueamento. A carga de 4 kg de O₃/tas também resulta polpas com menor viscosidade em relação à carga de 3 kg O₃/tas.

As seqüências com o estágio de extração com hipoclorito (EH), OZ(EH)P e OZ(EH)D, apresentaram viscosidades ainda menores comparadas com as seqüências OZ(EP)P e OZ(EP)D. O fato das seqüências com (EH) apresentarem menores viscosidades que as seqüências utilizando a extração com peróxido (EP), se devem ao pH do meio que foi realizado o estágio (EH), pH 7,0. O pH é a variável de maior importância no estágio de hipocloração. Na região de pH próximo do neutro, ocorre aumento da concentração de ácido hipocloroso que provoca a degradação da celulose (NAVARRO, 2004). Além disso, constatou-se que estágio de extração com hipoclorito influencia no desempenho do estágio final de dioxidação e peroxidação sobre a viscosidade. A seqüência com estágio (EH) terminada em P final apresentou menor viscosidade que a seqüência terminada em D final, sendo a seqüência OZ(EH)P a que resultou polpa de menor viscosidade em relação a todas as outras. É bem conhecido que os grupos carbonílicos (exceto os terminais redutores) ligados à celulose são a origem da despolimerização da celulose em meio alcalino via β - eliminação (AHN et al., 2012), isso reflete em uma redução substancial do grau médio de polimerização deste polímero e consequentemente queda da viscosidade.

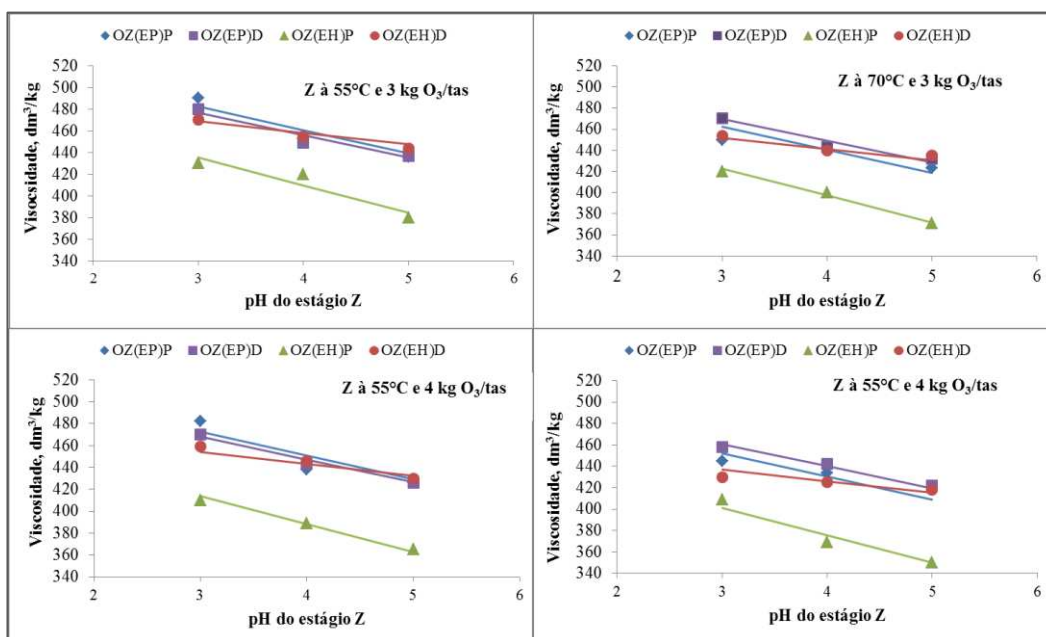


Figura 8. Viscosidades finais das polpas branqueadas pelas seqüências OZ(EH)P, OZ(EH)D, OZ(EP)P e OZ(EP)D, variando com pH, temperatura e carga de ozônio estágio Z.

Quadro 12. Equações de regressão ajustadas para viscosidade final da polpa branqueada pelas sequências OZ(EP)P, OZ(EP)D, OZ(EH)P e OZ(EH)D

Equações ajustadas	R^2	$R^2_{\text{ajust.}}$ (%)
$Y_{\text{OZ(EP)P}} = \text{Temp}(-1,3667) + \text{nsO}_3(-9,833) + \text{pH}(-21,625) + 652,08$	83,6	77,5
$Y_{\text{OZ(EP)D}} = \text{Temp}(-0,478) + \text{O}_3(-9,1667) + \text{pH}(-20,75) + 593,02$	94,8	92,8
$Y_{\text{OZ(EH)P}} = \text{Temp}(-0,833) + \text{O}_3(-21,5) + \text{pH}(-25,375) + 621,58$	96,0	94,5
$Y_{\text{OZ(EH)D}} = \text{Temp}(-1,133) + \text{O}_3(-15,000) + \text{pH}(-10,750) + 608,51$	93,4	92,3

Temperatura (Temp), carga de ozônio (O_3), pH do estágio (pH)

Ns- não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

*- Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

Na Figura 9 observa-se a influência do estágio final de branqueamento na alvura das polpas utilizando estágios de dioxidação e peroxidação, onde as cargas de dióxido de cloro e de peróxido de hidrogênio utilizadas foram equivalentes entre elas em termos de cloro ativo total (CAT). Sequências terminadas em D final, OZ(EH)D e OZ(EP)D, apresentaram maiores valores de alvura comparado com as sequências OZ(EH)P e OZ(EP)P, este resultado se deve ao fato de ainda ter lignina remanescente pós-estágio Z. O branqueamento com dióxido de cloro remove mais lignina em comparação com o peróxido de hidrogênio, assim produzindo maiores alvuras (NAVARRO, 2004).

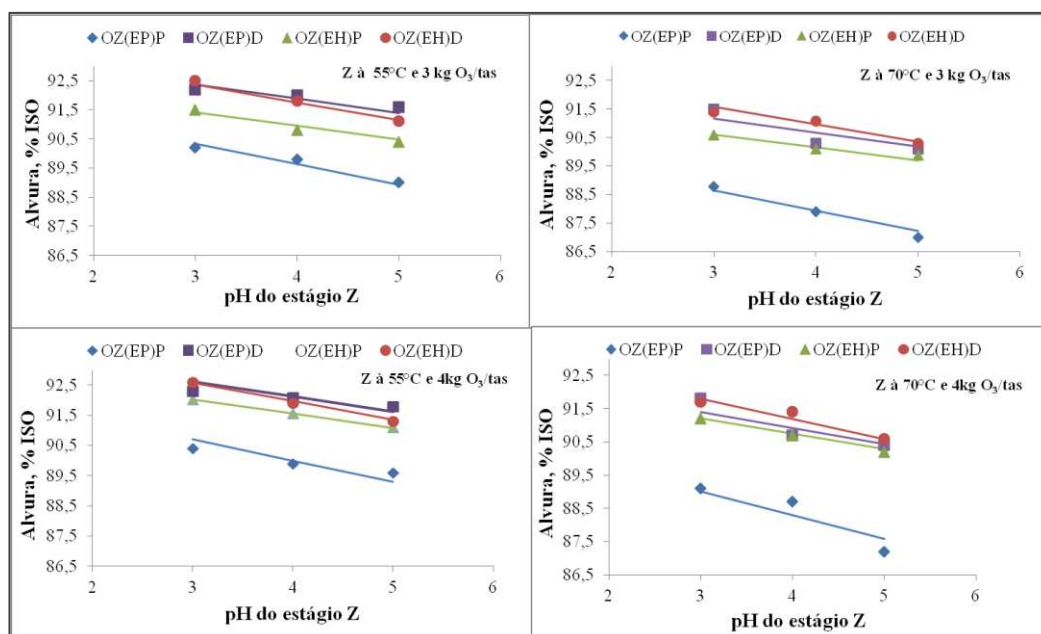


Figura 9. Alvuras finais das polpas branqueadas pelas sequências OZ(EH)P, OZ(EH)D, OZ(EP)P e OZ(EP)D, variando com pH, temperatura e carga de ozônio no estágio Z.

Quadro 13. Equações de regressão ajustadas para alvura final da polpa branqueada pelas sequências OZ(EP)P, OZ(EP)D, OZ(EH)P e OZ(EH)D

Equações ajustadas	R ²	R ² _{ajust.} (%)
$Y_{OZ(EP)P} = *Temp(-0,1133) + *O_3(0,3667) + *pH(-0,7125) + 97,67$	95,3	93,4
$Y_{OZ(EP)D} = *Temp(-0,0800) + {}^{ns}O_3(0,233) + *pH(-0,4875) + 97,53$	90,4	86,8
$Y_{OZ(EH)P} = *Temp(-0,0333) + *O_3(0,6000) + *pH(-0,4625) + 93,93$	95,2	93,3
$Y_{OZ(EH)D} = *Temp(-0,0522) + *O_3(0,2167) + *pH(-0,6125) + 96,44$	97,2	96,3

Temperatura (Temp), carga de ozônio (O₃), pH do estágio (pH)

Ns- não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

*- Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

Na Figura 10 estão apresentados os resultados de instabilidade de alvura das polpas branqueadas medido pelo número de cor posterior (NCP). Nota-se que as sequências com estágio (EH) apresentaram maior instabilidade de alvura. Sabe-se que em branqueamento de polpas, grupos HexA e grupos carbonílicos são os principais responsáveis pela reversão de alvura (WEMERSTROM, 2005). Como as polpas branqueadas apresentam apenas traços de HexA, suspeita-se que a instabilidade de alvura é devido a formação de grupos carbonílicos no estágio de extração com hipoclorito. Segundo Navarro (2004), a formação de grupos carbonílicos é típica quando o estágio de hipocloração é efetuado em valores de pH próximos do neutro. Pois próximo de pH 7,0, o branqueamento ocorre na presença de ácido hipocloroso, nestas condições as ligações glicosídicas se tornam instáveis em álcali, resultando em alvura baixas e instáveis, pela formação de carbonilas vizinhas em unidades de anidroglicose (JÚNIOR et al., 2015).

Na Figura 10, constata-se que para uma mesma sequência, o estágio final de peroxidação apresenta menor instabilidade de alvura comparada com o estágio de dioxidação. As polpas branqueadas com sequências terminando com estágio final de peroxidação apresentaram menor instabilidade de alvura, este fato é reconhecido, e pode ser explicado pelo fato de que certas substâncias cromóforas são solubilizadas pelo álcali presente na etapa de branqueamento com peróxido (FORSSKAHL, 2000; EIRAS et al., 2005).

Constata-se ainda que as sequências de branqueamento em que o estágio Z foi realizado em pH 5,0, 70°C e dosagem de O₃ 4kg/tas apresentaram maior

instabilidade de alvura. Sabe-se que as condições em que é realizado o estágio com ozônio, influencia na formação de grupos carbonílicos (CHANDRA & GRATZL, 1985; GODSAY & PEARCE, 1984). Esses grupos são formados pela decomposição do ozônio em radicais, como hidroxila, sendo que a formação destes radicais é influenciada por diversos fatores como pH e temperatura (SIXTA et al., 2006). Segundo Hoigné & Bader (1976), citado por Pouyet et al., (2014) a formação destes radicais é significativa quando se aumenta o pH do estágio Z, portanto a tendência observada é coerente com a literatura.

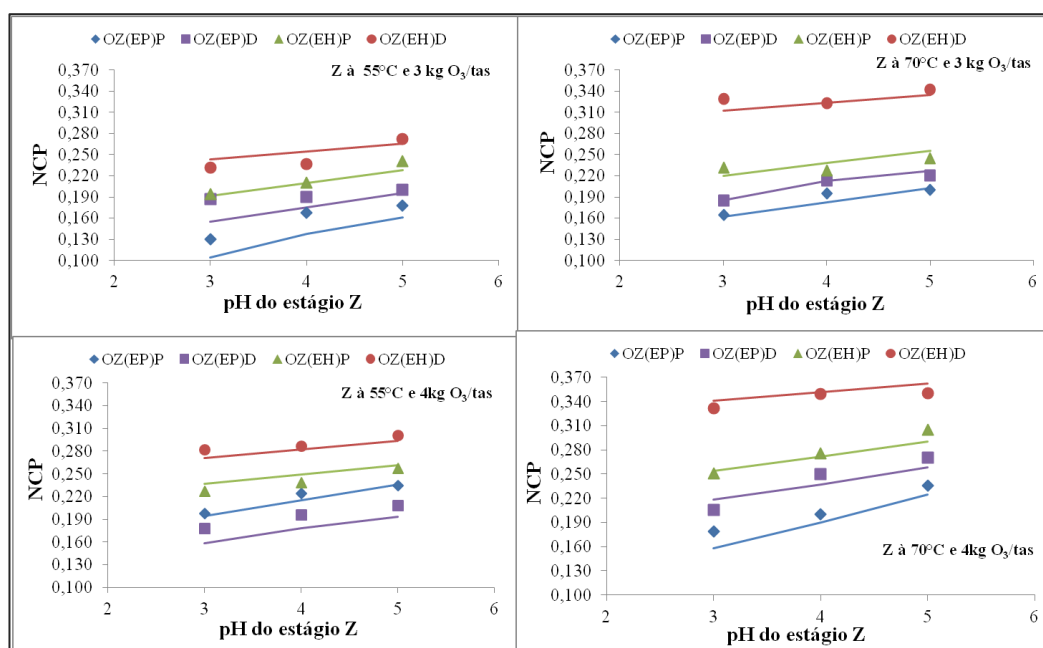


Figura 10. Instabilidade de alvura medido pelo número de cor posterior (NCP) das polpas branqueadas pelas sequências OZ(EH)P, OZ(EH)D, OZ(EP)P e OZ(EP)D, variando com pH, temperatura e carga de ozônio no estágio Z.

Quadro 14. Equações de regressão ajustadas para NCP das polpas branqueadas pelas sequências OZ(EP)P, OZ(EP)D, OZ(EH)P e OZ(EH)D

Equações ajustadas	R ²	R ² _{ajust.} (%)
$Y_{OZ(EP)P} = {}^{ns}\text{Temp}(0,0004889) + *O_3(0,039666667) + *pH(0,0205) - 0,0556$	91,1	87,8
$Y_{OZ(EP)D} = {}^{ns}\text{Temp}(0,000044) + *O_3(0,03867) + *pH(-0,012875) + 0,02389$	79,3	71,5
$Y_{OZ(EH)P} = *Temp(0,00178) + *O_3(0,034166667) + *pH(0,01815) - 0,06828$	88,2	83,8
$Y_{OZ(EH)D} = *Temp(0,00460) + *O_3(-0,027667) + *pH(0,01125) - 0,1263$	93,4	91,0

Temperatura (Temp), carga de ozônio (O₃), pH do estágio (pH)

Ns- não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

*- Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

Os resultados do branqueamento com a sequência curta, OZP, estão apresentados na Figura 11. As equações de regressão para avaliar o efeito da temperatura, carga de ozônio e pH sobre a viscosidade, alvura e Kappa do estágio OZP estão apresentadas no Quadro 14. O estágio Z influenciou fortemente na viscosidade, alvura e instabilidade de alvura da polpa. Conclui-se que o aumento do pH diminui a viscosidade, assim como o aumento da temperatura contribui para a queda da viscosidade. Observa-se que a viscosidade das polpas branqueadas pela sequência OZP foram menores em relação às outras sequências de branqueamento utilizadas no estudo. Este resultado é devido às condições em que foi realizado o estágio P final. Foi utilizada uma alta carga de H₂O₂ (20 kg/tas) e NaOH (13 kg/tas) comparada as cargas destes químicos utilizados nas outras sequências de branqueamento deste trabalho, que provocou a grande queda da viscosidade das polpas branqueamentos. Segundo Lachenal (1993), a seletividade do ozônio na sequência OZP é menor devido à significativa degradação alcalina que pode ocorrer durante o estágio P pela quebra das ligações glicosídicas em cadeias de celulose oxidadas pelo ozônio, especialmente quando são usadas cargas elevadas de peróxido no estágio P.

A alvura diminuiu e a instabilidade de alvura (NCP) aumentou com o aumento do pH e temperatura do estágio Z. Este resultado pode ser explicado pela formação de grupos carbonílicos nas condições em que foi realizado o estágio Z (SIXTA *et al.*, 2006).

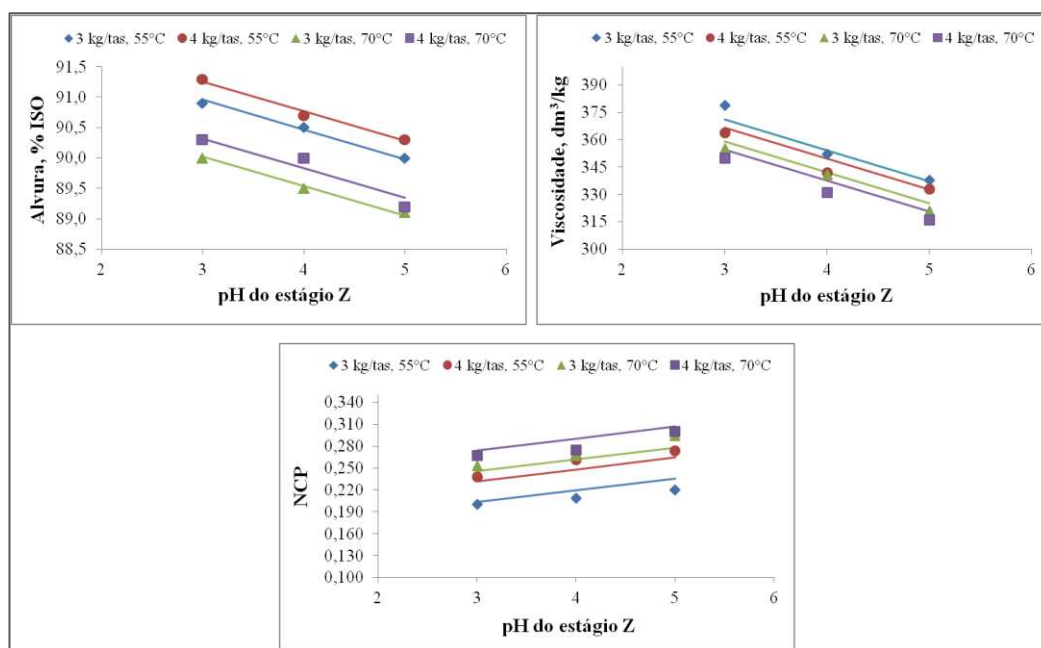


Figura 11. Desempenho do branqueamento OZP, medido pela viscosidade, alvura e NCP.

Quadro 15. Equações de regressão ajustadas para viscosidade, alvura e número Kappa da polpa branqueada pela sequência OZP.

Equações ajustadas	R ²	R ² _{ajust. (%)}
$Y_{\text{visc.}} = * \text{Temp}(-0,8000) + {}^{\text{ns}}\text{O}_3(-4,667) + * \text{pH}(-17,000) + 480,16$	91,0	87,7
$Y_{\text{alvu.}} = * \text{Temp}(-0,06222) + * \text{O}_3(0,3000) + * \text{pH}(-0,4875) + 94,93$	98,6	98,1
$Y_{\text{NCP}} = * \text{Temp}(0,00282) + * \text{O}_3(0,02867) + * \text{pH}(0,01625) - 0,0868$	88,1	83,7

Temperatura (Temp), carga de ozônio (O₃), pH do estágio (pH)
Ns- não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.
*- Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

Nos Quadros 12-15 são apresentados às curvas de regressão ajustadas das sequências de branqueamento utilizando o estágio Z. Estatisticamente, pelos coeficientes de determinação (R² ajustado), a viscosidade, alvura e instabilidade de alvura são explicados em grande parte pelas variações de pH e temperatura.

3.6. Branqueamento das polpas pelas sequências OZ/D(EH)P, OZ/D(EH)D, OZ/D(EP)P, OZ/D(EP)D

Na Figura 12, estão apresentadas as viscosidades finais das polpas branqueadas pelas sequências de branqueamento OZ/D(EH)P, OZ/D(EH)D, OZ/D(EP)P e OZ/D(EP) e no Quadro 16 as curvas de regressão para viscosidade. Observaram-se as mesmas tendências dos branqueamentos utilizando somente ozônio, ou seja, o aumento do pH e da temperatura resultam decréscimo da viscosidade. Constatou-se ainda que as sequências de branqueamento com o estágio de hipoclorito, OZ/D(EH)P e OZ/D(EH)D, levou a um decréscimo maior da viscosidade comparado com as sequências OZ/D(EP)P e OZ/D(EP)D; o estágio final de peroxidação da sequência OZ/D(EH)P também influenciou negativamente a viscosidade em relação ao estágio final de dioxidação da sequência OZ/D(EP)D.

A explicação para tais tendências é a mesma da tecnologia Z. As sequências com estágio (EH) apresentaram menores viscosidades devido ao pH do meio em que foi realizado o estágio, pH 7,0, que levou a formação de ácido hipocloroso provocando a degradação da celulose (NAVARRO, 2004). Nesta faixa de pH, há formação de carbonilas vizinhas em unidades de anidroglicose, o estágio subsequente alcalino (peroxidação) leva a um aumento da reação de descascamento, resultando em polpas com baixas viscosidades (JÚNIOR et al., 2015). Tecnologia Z/D de branqueamento resultou em viscosidades menores comparado com o branqueamento Z.

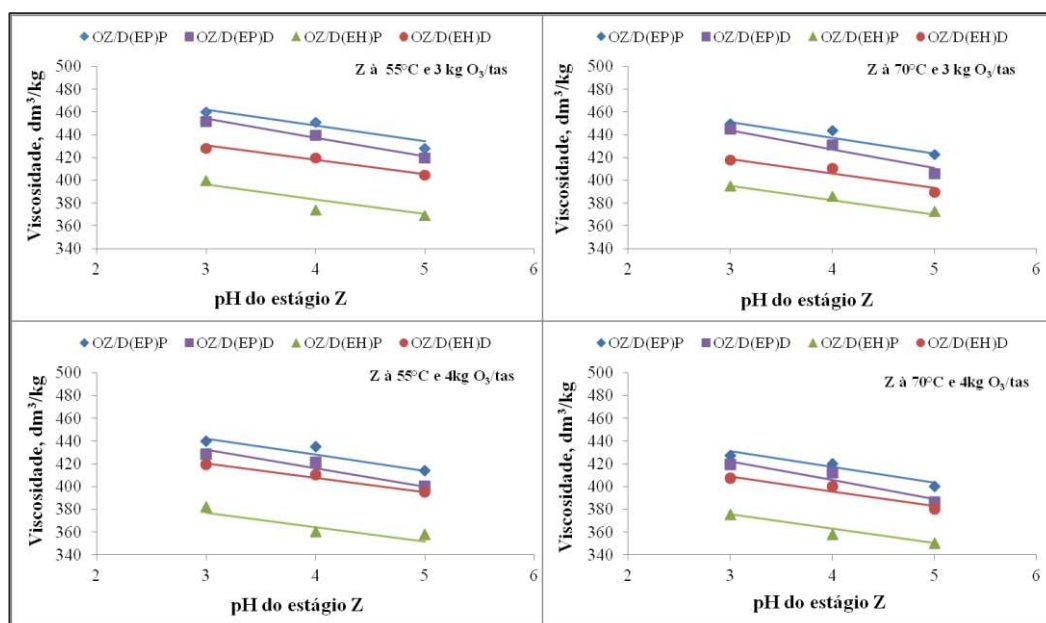


Figura 12. Viscosidades finais das polpas branqueadas pelas sequências OZ/D(EH)P, OZ/D(EH)D, OZ/D(EP)P e OZ/D(EP)D, variando com pH, temperatura e carga de ozônio no estágio Z.

Quadro 16. Equações de regressão ajustadas para viscosidade fina da polpa branqueada pelas sequências OZ/D(EP)P, OZ/D(EP)D, OZ/D(EH)P e OZ/D(EH)D

Equações ajustadas	R ²	R ² _{ajust.} (%)
$Y_{OZ/D(EP)P} = *Temp(-0,711111) + *O_3(-20,00) + *pH(-14) + 603,11$	94,3	92,2
$Y_{OZ/D(EP)D} = *Temp(-0,689) + *O_3(-21,333) + *pH(-16,5) + 605,38$	96,1	94,7
$Y_{OZ/D(EH)P} = *Temp(-0,06667) + *O_3(-19,00) + *pH(-12,75) + 495,00$	90,7	87,2
$Y_{OZ/D(EH)D} = *Temp(-0,78889) + {}^{ns}O_3(-10,167) + *pH(-12,75) + 542,806$	83,6	77,5

Temperatura (Temp), carga de ozônio (O₃), pH do estágio (pH)

Ns- não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

*- Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

Polpas com estágio final de dioxidação utilizando a tecnologia Z/D apresentaram alvura maior comparada com as sequências em que utilizou o estágio Z puro e estágio final de dioxidação (Fig. 13 versus. Fig. 9). A explicação para este resultado está relacionada ao fato que o uso do estágio Z/D degrada diferentes estruturas de lignina. Onde o dióxido de cloro ataca preferencialmente estruturas de ligninas fenólicas e o ozônio estruturas de ligninas não fenólicas

(TOVEN, 2000). Além disso, observam-se na Figura 13 que as sequências com o estágio final de dioxidação apresentaram alvuras maiores quando comparado às sequências com o estágio final de peroxidação, onde as cargas de dióxido de cloro e peróxido de hidrogênio foram equivalentes em termos de CAT. Como bem documentado na literatura, o estágio D final favorece valores de alvura maiores que as polpas branqueadas com o P final (REEVES & DANCE, 1996, ANDRADE & COLODETTE, 2010). As curvas de regressão para alvura final das sequências OZ/D(EP)P, OZ/D(EP)D, OZ/D(EH)P e OZ/D(EH)D estão apresentadas no Quadro 17.

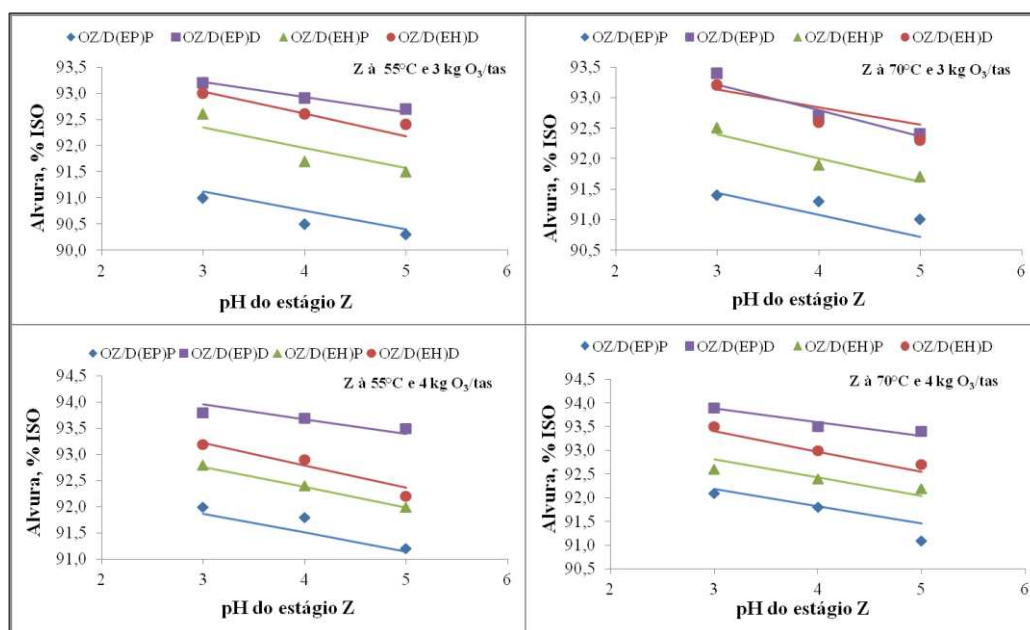


Figura 13. Alvuras finais das polpas branqueadas pelas sequências OZ/D(EH)P, OZ/D(EH)D, OZ/D(EP)P e OZ/D(EP)D, variando com pH, temperatura e carga de ozônio no estágio Z.

Quadro 17. Equações de regressão ajustadas para alvura final das polpas branqueadas pelas sequências OZ/D(EP)P, OZ/D(EP)D, OZ/D(EH)P e OZ/D(EH)D

Equações ajustadas	R ²	R ² _{ajust.} (%)
$Y_{OZ/D(EP)P} = *Temp(0,0211) + *O_3(0,7500) + *pH(-0,3625) + 88,792$	86,6	81,6
$Y_{OZ/D(EP)D} = {}^{ns}Temp(-0,00556) + *O_3(0,7500) + *pH(-0,2875) + 92,136$	92,9	90,3
$Y_{OZ/D(EH)P} = {}^{ns}Temp(0,0033) + *O_3(0,41667) + *pH(-0,3875) + 92,075$	87,8	83,2
$Y_{OZ/D(EH)D} = {}^{ns}Temp(0,0122) + *O_3(0,183333) + *pH(-0,425) + 93,086$	83,6	77,5

Temperatura (Temp), carga de ozônio (O₃), pH do estágio (pH)

Ns- não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

*- Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

A instabilidade de alvura das polpas branqueadas utilizando sequências com o estágio Z/D está apresentada na Figura 14 medida pelo número posterior de cor (NCP).

Os valores de NCP das sequências utilizando a tecnologia Z/D também apresentaram a mesma tendência que os branqueamentos com o estágio Z seguindo a mesma explicação. Sequências com hipoclorito apresentaram maior instabilidade de alvura devido à formação de grupos carbonílicos (NAVARRO, 2004 & WEMERSTROM, 2005). E polpas com o estágio final de peroxidação apresentaram menor instabilidade de alvura porque o peróxido é efetivo para destruir grupos carbonilas. Segundo FORSSKAHL (2000) & EIRAS et al., (2005), substâncias cromóforas são solubilizadas pelo álcali no estágio P, além dele destruir carbonilas. As curvas de regressão para NCP das sequências OZ/D(EP)P, OZ/D(EP)D, OZ/D(EH)P e OZ/D(EH)D estão apresentadas no Quadro 18.

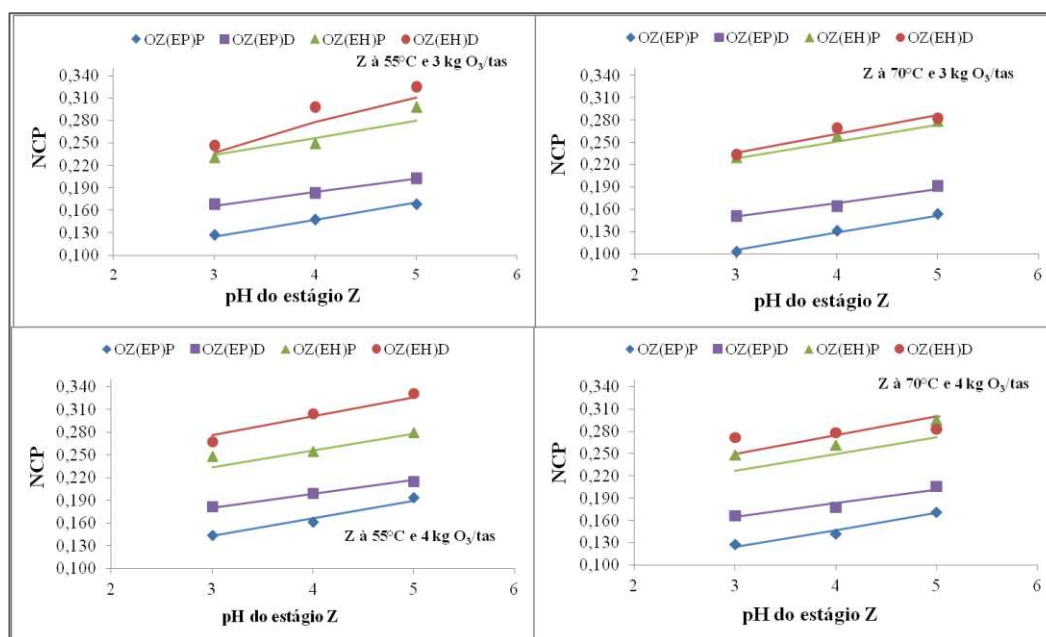


Figura 14. Instabilidade de alvura medido pelo número de cor posterior (NCP) das polpas branqueadas pelas sequências OZ/D(EH)P, OZ/D(EH)D, OZ/D(EP)P e OZ/D(EP)D, variando com pH, temperatura e carga de ozônio no estágio Z.

Quadro 18. Equações de regressão ajustadas para NCP para polpas branqueadas pelas sequências OZ/D(EP)P, OZ/D(EP)D, OZ/D(EH)P e OZ/D(EH)D

Equações ajustadas	R ²	R ² _{ajust.} (%)
$Y_{OZ/D(EP)P} = *Temp(-0,001267) + *O_3(-0,0187) + *pH(0,02315) + 0,06867$	98,0	97,3
$Y_{OZ/D(EP)D} = *Temp(-0,00104) + *O_3(0,014667) + *pH(0,0185) + 0,1231$	97,6	96,7
$Y_{OZ/D(EH)P} = {}^{ns}Temp(-0,00041) + {}^{ns}O_3(-0,00117) + *pH(0,0225) + 0,1921$	82,5	76,0
$Y_{OZ/D(EH)D} = *Temp(-0,001733) + {}^{ns}O_3(0,0144) + *pH(0,02525) + 0,2395$	83,6	77,4

Temperatura (Temp), carga de ozônio (O₃), pH do estágio (pH)

Ns- não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

*- Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

Nos Quadros 16-18 são apresentados às curvas de regressão ajustadas das sequências de branqueamento utilizando o estágio Z/D. Estatisticamente, pelos coeficientes de determinação (R² ajustado), a viscosidade final, alvura final e instabilidade de alvura das sequências são explicados em grande parte pelas variações de pH e carga de ozônio. Sequências como OZ/D(EP)D, OZ/D(EH)P, OZ(EH)D a temperatura do estágio Z não foi significativa.

Para o branqueamento de polpas para dissolução, visando à produção de viscose, a degradação da celulose tem um importante papel no processamento químico deste tipo de polpa; esta degradação é controlada pela viscosidade. Dessa forma, decidiu-se que as melhores sequências de branqueamento de polpas para dissolução são OZ(EP)P e OZ(EP)D, com estágio Z realizado à 55 °C, pH 3,0 e 3 kg O₃/tas, pois as polpas resultantes apresentaram viscosidades requeridas pelo mercado (400-550 dm³/kg). Adicionalmente, essas sequências resultaram em polpas com melhor estabilidade de alvura em razão dos seus menores teores de grupos carbonilas. Segundo Sixta (2006), grupos carbonílicos são uma das principais razões para a perda de resistência dos fios de viscose.

Para fim comparativo, o Quadro 19 mostra os resultados dos branqueamentos utilizando o estágio Z otimizado e o branqueamento referência. Observa-se que as sequências otimizadas resultaram em polpas com as viscosidades maiores, além disso, houve uma redução no consumo de dióxido de cloro. No melhor cenário, foi possível economizar 4,5 kg de ClO₂/tas em comparação com a referência.

Quadro 19. Resultados dos branqueamentos referência e sequências otimizadas, utilizando Z com pH 3,0, 55°C e 3 kg de O₃/tas

Condições e Resultados	Amostras									
	Referência OD(EH)DPQ	OZ(EH)D	OZ(EH)P	OZ(EP)D	OZ(EP)P	OZ/D(EH)D	OZ/D(EH)P	OZ/D(EP)D	OZ/D(EP)P	OZP
O ₂ , kg/tas	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
O ₃ , kg/tas	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	4	4	4	0	0	4	4	0	0	0
ClO ₂ , como tal, kg/tas	6,84	1,6	0	1,6	0	5,8	5,0	5,8	5,0	0
H ₂ O ₂ , kg/tas	4,0	0	2,0	4,0	6,0	0	1,0	4,0	5,0	20
NaOH, kg/tas	5,9	1,4	6,1	9,0	12,0	1,3	1,3	9,0	10,5	13,0
H ₂ SO ₄ , kg/tas	3,3	5,2	5,2	5,5	5,2	5,2	5,2	5,2	5,7	5,2
EDTA, kg/tas	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAT, kg/tas	30,36	21,50	21,50	25,86	25,86	32,56	32,56	26,40	26,40	55,12
Custo relativo, %	100	75,0	77,5	79,6	85,8	90,6	87,6	101,1	101,5	104,6
Alvura final, %ISO	92,0	92,5	91,5	92,2	90,1	93,0	92,6	93,2	91,1	90,9
Reversão, % ISO	1,9	2,0	1,7	1,4	1,8	2,7	2,4	1,5	1,6	1,8
Kappa	0,14	-	-	0,20	0,15	-	-	-	-	-
Viscosidade final, dm ³ /kg	390	475	430	485	501	428	401	443	452	382

*CAT(kg/tas polpa) = 2,63*ClO₂(kg/tas polpa) + 2,09*H₂O₂ (kg/tas polpa) + 1,0*NaClO (kg/tas polpa) + 4,44*O₃(kg/tas polpa).

3.7. Qualidade das polpas para dissolução

O Quadro 20 mostra a caracterização das polpas com as sequências otimizadas e da polpa referência. A sequência OD(EH)DPQ é uma sequência típica de branqueamento de polpas para dissolução utilizado na indústria. Foi feito o branqueamento e posterior caracterização desta, de modo que pudéssemos comparar as sequências utilizando ozônio com a referência. A qualidade da polpa para dissolução é afetada negativamente pela presença de hemiceluloses e metais em sua composição, além disso, um teor mínimo de pureza medido, pelo teor de α -celulose (> 92%) é requerida para a produção de polpa, grau viscoso.

Observa-se que foi obtido polpas com baixo teor de hemiceluloses e com alta pureza, isto indica que as sequências utilizando ozônio são altamente eficientes na purificação da polpa. Medidas de resistência à solubilização por álcali são tradicionalmente utilizadas na indústria de polpa para dissolução como indicador de xilana residual e teor de celulose degradada na polpa (TESTOVA et. al., 2014). As hemiceluloses são dissolvidas em solução de soda cáustica 18% (S18%), ao passo que a celulose degradada juntamente com as hemiceluloses são dissolvidas em solução de soda cáustica 10% (medido pelo S10%). Os resíduos não solubilizados pelo tratamento da polpa para dissolução com NaOH 18% e NaOH 10% é chamado de R18 e R10. Constata-se que as sequências OZ(EP)P e OZ(EP)D tem valores de R10% ligeiramente maior do que a amostra referência, indicando que o estágio Z degrada menos a celulose comparado com estágio (EH). Os valores de R18% das amostras otimizadas são similares entre elas e ligeiramente menores que a referência, isto indica que a operação de branqueamento não teve grande influência no valor de R 18%. Na verdade, a maior parte das hemiceluloses foi removida durante a polpação pré-hidrólise Kraft.

Sobre o conteúdo de metais, o processo de pré-hidrólise e o branqueamento foram eficientes na remoção de metais, principalmente na remoção de íons de ferro, porém não foi eficiente na remoção da sílica, o que já era esperado, uma vez que a solubilização deste mineral depende de condições alcalinas (SONG et. Al., 2011). Segundo Costa (1997), o estágio Z remove até 59% dos íons de ferro.

Observa-se também que o teor de compostos orgânicos halogenados na polpa (OX) é extremamente baixo comparado com a referência, este é um

resultado esperado, já que as sequências OZ(EP)P e OZ(EP)D não utilizam ou utilizam muito pouco dióxido de cloro.

Quadro 20. Caracterização das polpas branqueadas pelas sequências otimizadas e pela sequência referência e especificações de polpa solúvel, grau viscoso

Parâmetros	Amostras			Valores ideais
	Referência OD(EH)DPQ	OZ(EP)P	OZ(EP)D	
Xilanas, %	2,72	2,58	2,82	-
Alfacelulose, %	95,8	95,8	95,9	-
R10, %	94,6	95,3	95,2	≥ 90.0
R18, %	97,2	96,4	96,6	≥ 95.0
Cinzas, %	0,11	0,11	0,07	< 0.10
SiO ₂ , ppm	127	150	180	< 50
Ca, ppm	11,5	25,8	26,1	< 50
Fe, ppm	4,9	1,0	0,80	< 5
Mg, ppm	7,9	12,6	6,0	< 70
Mn, ppm	0,13	0,20	0,27	< 0.5
OX, mg Cl ⁻ /kg	82,0	3,1	13,2	-

Na Figura 15 está apresentado o resultado da quantificação dos grupos carbonílicos das sequências de branqueamento, OZ(EH)P, OZ(EH)D, OZ(EP)P e OZ(EP)D em que o estágio Z foi realizado nas seguintes condições: pH 3,0, 55 °C e 3kg O₃/tas. Observou-se que as sequências com o estágio de extração com hipoclorito apresentaram maiores teores de carbonilas e sequências com estágio final de peroxidação apresentaram menores teores de carbonilas. Segundo Wennerstrom (2000), os grupos carbonílicos são formados em estágios com ozônio e hipoclorito, mas podem ser removidos em grande parte com tratamento alcalino com peróxido de hidrogênio. Portanto o resultado está coerente com a literatura.

O efeito dos grupos carbonílicos sobre as propriedades da polpa celulósica tem sido extensamente estudado. É reconhecido na literatura que os grupos carbonílicos diminuem a estabilidade de alvura das polpas branqueadas (CHIRAT & LA CHAPELLE, 1999; WENNERSTROM, 2000). Além disso, a celulose oxidada é facilmente degradada em meio alcalino. Isso reflete numa redução

substantial do grau de polimerização (DP) e consequentemente redução da viscosidade da polpa quando a celulose oxidada é exposta ao meio alcalino (PERRIN et al., 2014). Os branqueamentos em que o estágio final foi de peroxidação resultaram em polpas com viscosidades menores comparado com as polpas em que o estágio final de dioxidação (Figura 8). Grupos carbonílicos diminuem em um estágio P, no entanto, o grau de polimerização (DP) diminui (PERRIN et al., 2014). Exatamente porque ao destruir a carbonilas, a condição alcalina do estágio de peroxidação causa clivagem da cadeia de celulose, consequentemente diminui a viscosidade, trata-se de um efeito indireto.

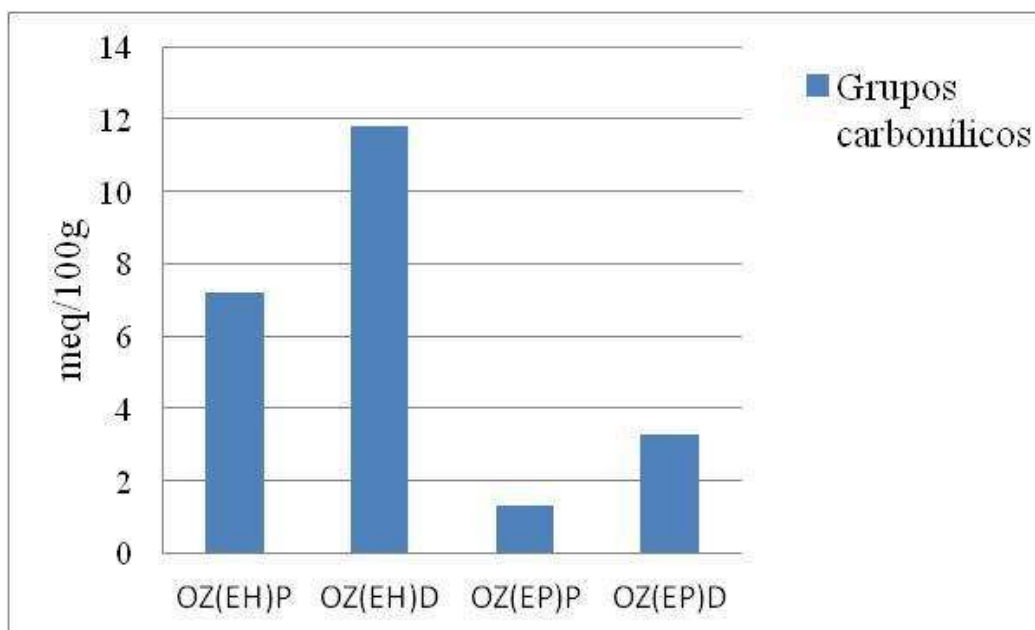


Figura 15. Teor de grupos carbonílicos (meq/100g de polpa) de polpas branqueadas por quatro diferentes seqüências de branqueamento.

4. CONCLUSÕES

- O estágio com ozônio favorece o controle da viscosidade da polpa para dissolução e resulta em altos ganhos de alvura;
- As condições ótimas estudadas para o estágio Z são: 55°C, pH 3,0 e 3 kg O₃/tas;
- As sequências de branqueamento OZ(EH)P, OZ(EH)D, OZ(EP)P, OZ(EP)D, OZ/D(EP)P e OZ/D(EP)D são sequências com potencial para a produção de polpa para dissolução, grau viscoso. A sequência OZP utilizando a condição ótima do estágio Z, resultou polpa de baixa viscosidade;
- A faixa de viscosidade desejada (450-550 dm³/kg) foi alcançada por todas as sequências contendo o estágio de ozônio, exceto pela sequência OZP;
- As melhores sequências de branqueamento para polpas dissolução foram OZ(EP)P e OZ(EP)D. A sequência OZ(EP)P apresentou menor teor de carbonilas comparado com a sequência terminado em estágio final de dioxidação;
- Os valores de α -celulose, R18% e R10% das polpas branqueadas pelas sequências OZ(EP)P e OZ(EP)D foram similares entre elas. Os resultados atingiram os valores requeridos pelo mercado;
- As sequências OZ(EP)P e OZ(EP)D tiveram uma redução no consumo de ClO₂, de 4,5 kg/tas em comparação com o branqueamento OD(EH)DPQ;
- A utilização do ozônio no branqueamento mostrou ser uma opção para produzir polpa para dissolução.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHN, K.; HENNNIGES, U.; BANIK, G.; POTTHAST, A. Is cellulose degradation due to β - elimination process a threat in mass deacidification of library books. **Cellulose**, 19(4), p. 1149-1159, 2012.

ANDRADE, M.; COLODETTE J. L. Influência do último estágio de branqueamento ECF, na branqueabilidade, no refino e nas propriedades da polpa. **Scientia Forestalis**, v.38, n.86, p.135-146, 2010.

BAJPAI, P. **ECF and TCF bleaching-** environmentally benign approaches for pulp bleaching. India. 2nd Ed. Elsevier B. B.; 2012, p. 416.

BATALHA, L. R.; COLODETTE, J. L.; ANDRADE, M. F.; MOUNTEER, A. H. Deslignificação e branqueamento com dióxido de cloro. Por: COLODETTE, J. L e GOMES, F. J.B (Ed.), **Branqueamento de polpa celulósica, da produção da polpa marrom ao acabamento**. Ed. UFV, 2015, p.379.

BOYDEN, B.H. Treatment of bleachery effluents from kraft mills pulping mature eucalypts. **Water Science Technology**, v.29, n.5-6, p.247-258, 1994.

CARRÉ, G.; WENNERSTRÖM, M. **Proceedings** of the International Pulp Bleaching Conference, Stockholm, Sweden, 2005.

CHANDRA, S. **Studies on ozonization of softwood pulps and evaluation of oxygen prebleaching options**. In Department of Wood and Paper Science. NC State University: Raleigh, NC, 1985.

CHANDRA, S.; GRATZL, J. S. Kinetics of carbohydrate and lignin degradation and formation of carbonyl and carboxyl groups in low consistency ozonation of softwood pulps. **International Pulp Bleaching Conference**, Quebec, Canada, p.25-35, 1985.

CHIRAT, C.; LA CHAPELLE, V.; LACHENAL, D. Limiting yellowing of chemical pulps by the use of specific salts. **Proceedings** from the 2000 CTP Forum, Grenoble, France, 1999.

CHIRAT, C.; D. LACHENAL. **Effect of ozone on pulp componentes application to bleaching of Kraft pulps**. *Holzforschung*, 48 (Suppl) p. 133-139, 1994.

COLODETTE, J.L.; SINGH, U. P.; GHOSH, A. K.; SINGH, R.P. Ozone bleaching research focuses on reducing high cost, poor selectivity. **Pulp and Paper Journal**, v.67, 0. 139-147, 1993

COSTA, M. M. **Alternativas para remoção de extrativos na produção de polpas para dissolução totalmente isenta de cloro a partir de *Eucalyptus ssp.*** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

EIRAS, K. M.M.; COLODETTE, J. L.; CARVALHO, A.M.M.L. Estudo das causas de reversão de alvura de polpas Kraft de eucalipto. **Cerne**, v.11, n.4, p.354-368, 2005.

FORSSKÅHL, I. Papermaking science and technology. **Tappi**, p.350, Atlanta, 2000.

GARTLEY, B. Ozone Delignification at Domtar Espanola, paper presented at the **PAPTAC Bleaching Committee**, Outubro de 2002.

GODSAY, M.P.; PEARCE, E.M. Physico-chemical properties of ozone oxidized Kraft pulps. In: **Tappi Symposium- Oxygen Delignification**, 1984.

HAEMMERLE, F. M. The Cellulose Gap – The Future of Cellulose Fibres. Viena, 2011. Apresentado durante o 2011 **Lenzing – Nature Jeju Festival**, junho de 2011, Jeju, Coréia do Sul.

HERSTAD-SVÄRD, S.; BASTA, J.; JOUR, P.; WÄNE, G. Caracterização comparativa dos efluentes de modernas plantas de branqueamento (ECF) – de celulose de eucalipto e de fibra longa. **Congresso Anual de Celulose e Papel, ABTCP**, p.49-62, 1997.

IBARRA, D.; KÖPCKE, V.; LARSSON, P. T.; JÄÄSKELÄINEN, A. S.; EK, M. Combination of alka-line and enzymatic treatments as a process for upgrading sisal paper-grade pulp to dissolving-grade pulp. **Bioresour. Technology**. 101, p. 7416–7423. 2010

IQBAL, S.; AHMAD, Z. **Impact of degree of polymerization of fiber on viscose fiber strength**. Degree of Master in Textile Technology. The Swedish School of Textile. Swedish, 2011.

JACOBSON, B.; LINDBLAD, P.O.; NILVEBRANT, N.O. **Lignin Reactions Affect the Attack of Ozone on Carbohydrates**. Proceedings International Bleaching Conference, Stockholm, Sweden, Vol. 2, p. 45. 1991.

JÚNIOR D. L.; COLODETTE, J. L. Remoção de hemiceluloses da madeira por tratamento de auto-hidrólise. **Ciência Florestal**, v.21, n.3, p. 541-550, 2011.

JÚNIOR, D. L.; VIEIRA, F.R.; RESENDE, J.; COLODETTE, J. L. Branqueamento de polpas para dissolução. Por: COLODETTE, J. L e GOMES, F. J.B (Ed.), **Branqueamento de polpa celulósica, da produção da polpa marrom ao acabamento**. Ed. UFV, 2015, p.607.

KAMALI, M.; KHODAPARAST, Z. Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, p.1-17, 2014.

LACHENAL, D. Chemistry of ozone bleaching. In: **Workshop on emerging pulping and chlorine-free bleaching technology**, Raleigh, 1993.

LIEBERGOOT, N.; VAN LIEROP, B.; SKOTHOS, A. A survey of the use of ozone in bleaching pulps. Part 1. **Tappi Journal**, v.75, p. 145-152, 1992,

LINDHOLM, C. A. Effect of pulp consistency and pH in ozone bleaching, Part 2: Lignin removal and carbohydrate degradation. In **Tappi Proceedings-Internacional Oxygen Delignification Conference**, 1987.

LINO, G. A.; OLIVEIRA, F. N.; COLODETTE, J. L. Branqueamento com ozônio. Por: COLODETTE, J. L e GOMES, F. J.B (Ed.), **Branqueamento de polpa celulósica, da produção da polpa marrom ao acabamento**. Ed. UFV, 2015, p.426.

MEDEIROS, D.R.; PIRES, E.C.; MOHSENI, M. Ozone oxidation of pulp and paper wastewater and its impact on molecular weight distribution of organic matter. **Ozone Science & Engineering**, v. 30, n. 1, p. 105-110, 2008.

MIAO, Q.; CHEN.; HUANG, L.; TIAN, C.; ZHENG, L., N, Y. A process for enhancing the accessibility and reactivity of hardwood kraft-based dissolving pulp for viscose rayon production by cellulose treatment. **Bioresource Technology**, 154, p.109-113,2014.

MOUNTEER, A. H.; COLODETTE, J. L.; SILVA, D.O. Treatment efficiency of eucalypt Kraft pulp bleaching effluents: Influence of dissolved organic matter. **Tappi Journal**, v. 1, n2, 2001.

NAVARRO, R. M. S. **Estudo dos diferentes tipos de processos de branqueamento de celulose objetivando entre seus métodos e a geração do potencial de poluentes em seus respectivos efluentes**. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.

PAN, G. Y. Studies on ozone bleaching. In: The effect of pH, temperature, buffer systems and heavy metal-ions stability of ozone in aqueous solution. **Journal Wood Chemistry Technology**, 4(3), p. 367-387, 1984

PEKKALA, O. Some effects of extended delignification on lignin in Kraft cooking. **Paper Puu**, 67 (11), p. 673- 688, 1985.

PERRIN, J.; POUYET, F.; CHIRAT, C.; LACHENAL, D. Formation of carbonyl and carboxyl groups on cellulosic pulps: Effect on alkali resistance. **Bioresources**, 9(4), p.7299-7310, 2014.

POUYET, F.; CHIRAT, C.; POTTHAST, A.; LACHENAL, D. Formation of carbonyl groups on cellulose during ozone treatment of pulp: Consequences for pulp bleaching. Journal Elsevier. **Carbohydrate Polymers**, 109, p. 85-91, 2014.

REEVES, D.; DANCE, C. Pulp bleaching: Principles and practice. Atlanta: **Tappi**, 1996.

REGAZZI, A.; SILVA, C. H. O. **Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. I. Dados no**

delineamento inteiramente casualizado. Revista Matemática Estatística, v. 22, n. 3, p. 33 – 45, 2004.

REQUEJO, A.; COLODETTE, J.L.; GOMIDE, J.L.; JIMÉNEZ, L. TCF bleaching sequence in Kraft pulping of olive tree pruning residues. **Bioresources Technology**, 117, p. 117-123, 2012.

SIXTA, H. Dissolving Grade Pulp. In: SIXTA, H (Ed) **Handbook of Pulp**, Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, v.2 p. 1009- 1067, 2006.

SIXTA, H. Influence of pulp properties on the ozone bleaching performance. **R&D Lenzing AG**, Lenzing, 2002.

SIXTA, H.; POTTHAST, A.; KROTSCHKE, A.W. Chemical *Pulping Processes*. In: SIXTA, H (Ed) **Handbook of Pulp**, Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, v.1 p. 109- 475, 2006.

SIXTA, H.; SUSS, H.; POTTHAST, A.; SCHWANNINGER, M.; KROTSCHKE, A.W. Pulp Bleaching. In: SIXTA, H (Ed) **Handbook of Pulp**, Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, v.2 p. 609- 932, 2006.
SONNEMBERG, L.B. **Overview of ozone bleaching**. Institute of Paper Science and Technology. Atlanta, 1996.

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.

STAEHELIN, J.; HOIGNÉ, J. Decomposition of ozone in water: Rate of initiation by hydroxide ions and hydrogen peroxide. **Environ. Sci. Technology**, 16(10), p. 676-681, 1982.

STAEHELIN, J.; R. E, BUHLER, J.; HOIGNÉ, J. Ozone decomposition in water studied by pulse radiolysis, 2OH and HO₄ as chain intermediates. **Journal Phys. Chem**, 88, 5999-6004, 1984.

SUESS, H. U.; LALLY, J.; DAVIES, D. Progress in bleaching to top brightness with low reversion. **Pulp & Paper Canada**, v.106, n.10, p. 204 -209, 2005.

TESTOVA, L.; BORREGA, M.; TOLONEN, L.K.; PENTTILA P. A.; SERIMAA, R.; LARSSON, P.T.; SIXTA, H. Dissolving-grade birch pulps produced under various prehydrolysis intensities: quality, structure and applications. **Cellulose**, 21, p.2007-2021, 2014.

TZITZI, M.; VAYENAS, D. V.; LYBERATOS, G. **Water Science Technology**, 29, p.151,1994.

TOVEN, K. **Ozone- based ECF bleaching of softwood kraft pulp**. Thesis submitted in partial fulfillment of the doctor engineer degree. Department of chemical and technology, Norwegian University of Science and technology, Norway, 2000.

TOVEN, K.; GELLERSTEDT, G.; KLEPPE, P.; MOE, S. Use of chlorine dioxide and ozone in combination in prebleaching. **Journal of pulp and paper science**. vol 28, nº9, 2002.

VEHMAA, J.; PIKKA, O. **Proceedings** of Paperex , New Delhi, India, 2007.

VENTORIM, G.; OLIVEIRA, K. D.; COLODETTE, J. L.; COSTA, M. M. Influência do número Kappa, dos ácidos hexenurônicos e da lignina no desempenho da deslignificação com oxigênio. **Scientia Forestalis**, n.71, p. 87-97, 2006.

VIDAL, A.C.F.; DA HORA, A.B.A. **A indústria de Papel e Celulose. BNDES 60 anos: Perspectivas Setoriais**, v.I, p. 334- 381. Rio de Janeiro, 2012.

VIEIRA, F.R.; COLODETTE, J. L. **Estudo do efeito do pH do estágio de hipocloração na viscosidade da polpa celulósica**. Relatório #011-2014. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2014. 18p.

VUORINEN, T. Selective hydrolysis of hexenuronic acid groups and its application in ECF and TCF bleaching of kraft pulps. In: International Pulp Bleaching Conference, 1996, Atlanta. **Proceedings Atlanta**: TAPPI PRESS, p. 43-51, 1996.

WENNERSTRÖM, M. Decreasing brightness reversion with powerfull ozone bleaching. **Pulp & Paper Canada**, 106(1), p. 1-44, 2005.

WIZANI, W.; LACKNER, K.; SINER, M. Prehydrolysis kraft displacement cooking (visbatch) for TCF dissolving pulp. **International Non Chlorine Bleaching Conference**. San Francisco, 1994.

YE, D.; FARRIOL, D.; 2. Improving accessibility and reactivity of celluloses of annual plants for the synthesis of methylcellulose. **Cellulose**, 12, 507–515. 2005

ZHANG, X. Z.; NI, Y.; VAN HEININGEN, A. **Effect of temperature on the kinetics of pulp ozonation**. **Journal of Pulp and Paper Science**, v.27, p. 279-283, 1999.

ANEXOS

Quadro 1. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)P- O₃=3 kg/tas pH=3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	10	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	2,5
pH final	A	11,7	3,1	2,5	6,9	11,0
	B	11,7	3,0	2,5	7,0	10,9
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	40	100	90,6
Número Kappa	A	2,7	-	0,80	-	-
	B	2,8	-	0,80	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	86,8	91,6	92,6
	B	61,7	-	86,7	91,6	92,5
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,4
	B	-	-	-	-	2,4
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	400
	B	756	-	-	-	401

Quadro 2. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ/D(EH)P- O₃=3 kg/tas pH=4,0 T= 55°C.**

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	2,5
pH final	A	11,7	3,9	3,1	7,0	11,0
	B	11,7	3,9	3,0	7,0	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	36	100	89,5
Número Kappa	A	2,7	-	0,90	-	-
	B	2,8	-	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	85,3	91,1	91,7
	B	61,7	-	85,4	91,0	91,8
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,5
	B	-	-	-	-	2,5
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	371
	B	756	-	-	-	377

Quadro 3. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)P- O₃=3 kg/tas pH=5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	2,5
pH final	A	11,7	4,8	3,1	6,9	11,0
	B	11,7	4,8	3,0	7,0	10,9
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	25	100	90,6
Número Kappa	A	2,7	-	0,90	-	-
	B	2,8	-	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	84,9	90,7	91,5
	B	61,7	-	84,9	90,7	91,4
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,2
	B	-	-	-	-	2,2
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	369
	B	756	-	-	-	368

Quadro 4. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)P- O₃=4 kg/tas pH=3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/t	-	-	-	-	-	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	2,5
pH final	A	11,7	2,9	2,5	6,8	10,8
	B	11,7	3,0	2,6	6,9	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	60	100	88,7
Número Kappa	A	2,7	-	0,70	-	-
	B	2,8	-	0,70	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	87,8	91,7	92,8
	B	61,7	-	87,8	91,8	92,7
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,6
	B	-	-	-	-	2,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	374
	B	756	-	-	-	370

Quadro 5. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)P- O₃=4 kg/tas pH=4,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	2,5
pH final	A	11,7	3,8	2,9	6,9	10,9
	B	11,7	3,8	2,9	6,9	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	30	100	88,7
Número Kappa	A	2,7	-	0,60	-	-
	B	2,8	-	0,60	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	87,0	91,4	92,4
	B	61,7	-	87,0	91,4	92,5
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,5
	B	-	-	-	-	2,5
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	358
	B	756	-	-	-	362

Quadro 6. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)P- O₃=4 kg/tas pH=5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	2,5
pH final	A	11,7	4,7	3,0	6,8	10,9
	B	11,7	4,7	2,9	6,8	10,9
Consumo de Reagentes, %	-	-	97	26	100	92,1
Número Kappa	A	2,7	-	0,60	-	-
	B	2,8	-	0,60	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	86,3	91,0	92,0
	B	61,7	-	86,3	90,9	92,1
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,6
	B	-	-	-	-	2,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	358
	B	756	-	-	-	357

Quadro 7. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)P- O₃=3 kg/tas pH=3,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	2,5
pH final	A	11,7	3,0	2,6	6,9	10,8
	B	11,7	3,0	2,6	6,9	10,7
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	60	100	89,1
Número Kappa	A	2,7	-	0,80	-	-
	B	2,8	-	0,80	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	87,5	91,9	92,5
	B	61,7	-	87,4	91,8	92,4
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,4
	B	-	-	-	-	2,4
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	390
	B	756	-	-	-	399

Quadro 8. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)P- O₃=3 kg/tas pH=4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	2,5
pH final	A	11,7	3,8	2,9	6,8	10,7
	B	11,7	3,8	3,0	6,8	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	55	100	90,7
Número Kappa	A	2,7	-	0,90	-	-
	B	2,8	-	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	85,6	91,4	91,9
	B	61,7	-	85,6	91,4	91,9
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,4
	B	-	-	-	-	2,3
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	382
	B	756	-	-	-	388

Quadro 9. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)P- O₃=3 kg/tas pH=5,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	2,5
pH final	A	11,7	4,8	3,0	6,8	10,7
	B	11,7	4,8	3,0	6,8	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	36	100	90,7
Número Kappa	A	2,7	-	-	-	-
	B	2,8	-	-	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	85,0	90,9	91,7
	B	61,7	-	85,1	91,0	91,7
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,5
	B	-	-	-	-	2,5
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	372
	B	756	-	-	-	373

Quadro 10. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)P- O₃=4 kg/tas pH=3,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	2,5
pH final	A	11,7	3,1	2,6	6,8	10,7
	B	11,7	3,0	2,6	6,8	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	57	100	90,7
Número Kappa	A	2,7	-	0,70	-	-
	B	2,8	-	0,70	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	88,1	92,0	92,6
	B	61,7	-	88,1	92,0	92,6
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,4
	B	-	-	-	-	2,3
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	374
	B	756	-	-	-	375

Quadro 11. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)P- O₃=4 kg/tas pH=4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	2,5
pH final	A	11,7	3,9	3,0	6,8	10,7
	B	11,7	4,0	3,0	6,8	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	50	100	90,7
Número Kappa	A	2,7	-	0,60	-	-
	B	2,8	-	0,60	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	86,9		92,5
	B	61,7	-	86,9		92,4
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,4
	B	-	-	-	-	2,4
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	364
	B	756	-	-	-	366

Quadro 12. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)P- O₃=4 kg/tas pH=5,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	2,5
pH final	A	11,7	4,7	2,9	6,8	10,7
	B	11,7	4,7	2,9	6,8	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	98	33	100	91,9
Número Kappa	A	2,7	-	0,55	-	-
	B	2,8	-	0,55	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	85,9	91,3	92,2
	B	61,7	-	85,8	91,3	92,2
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,7
	B	-	-	-	-	2,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	348
	B	756	-	-	-	353

Quadro 13. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)D- O₃=3 kg/tas pH=3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	-
pH final	A	11,7	3,1	2,5	6,9	5,2
	B	11,7	3,0	2,5	7,0	5,3
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	40	100	95,7
Número Kappa	A	2,7	-	0,80	-	-
	B	2,8	-	0,80	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	86,8	91,6	93,0
	B	61,7	-	86,7	91,6	92,9
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,7
	B	-	-	-	-	2,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	426
	B	756	-	-	-	430

Quadro 14. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)D- O₃=3 kg/tas pH=4,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	-
pH final	A	11,7	3,9	3,1	7,0	5,1
	B	11,7	3,9	3,0	7,0	5,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	36	100	86,3
Número Kappa	A	2,7	-	0,90	-	-
	B	2,8	-	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	85,3	91,1	92,6
	B	61,7	-	85,4	91,0	92,5
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,5
	B	-	-	-	-	2,5
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	423
	B	756	-	-	-	422

Quadro 15. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)D- O₃=3 kg/tas pH=5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	-
pH final	A	11,7	4,8	3,1	6,9	5,0
	B	11,7	4,8	3,0	7,0	5,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	25	100	99,5
Número Kappa	A	2,7	-	0,90	-	-
	B	2,8	-	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	84,9	90,7	92,5
	B	61,7	-	84,9	90,7	92,4
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,1
	B	-	-	-	-	2,2
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	404
	B	756	-	-	-	398

Quadro 16. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)D- O₃=4 kg/tas pH=3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	-
pH final	A	11,7	2,9	2,5	6,8	5,4
	B	11,7	3,0	2,6	6,9	5,3
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	60	100	94,2
Número Kappa	A	2,7	-	0,70	-	-
	B	2,8	-	0,70	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	87,8	91,7	93,2
	B	61,7	-	87,8	91,8	93,2
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,4
	B	-	-	-	-	2,4
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	421
	B	756	-	-	-	425

Quadro 17. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)D- O₃=4 kg/tas pH=4,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	0,80
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	-
pH final	A	11,7	3,8	2,9	6,9	5,2
	B	11,7	3,8	2,9	6,9	5,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	30	100	95,1
Número Kappa	A	2,7	-	0,60	-	-
	B	2,8	-	0,60	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	87,0	91,4	92,9
	B	61,7	-	87,0	91,4	92,8
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,6
	B	-	-	-	-	265
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	409
	B	756	-	-	-	410

Quadro 18. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)D- O₃=4 kg/tas pH=5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	-
pH final	A	11,7	4,7	3,0	6,8	5,0
	B	11,7	4,7	2,9	6,8	5,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	97	26	100	96,0
Número Kappa	A	2,7	-	0,60	-	-
	B	2,8	-	0,60	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	86,3	91,0	92,0
	B	61,7	-	86,3	90,9	92,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,4
	B	-	-	-	-	2,3
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	397
	B	756	-	-	-	393

Quadro 19. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)D- O₃=3 kg/tas pH=3,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	-
pH final	A	11,7	3,0	2,6	6,9	5,4
	B	11,7	3,0	2,6	6,9	5,4
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	60	100	97
Número Kappa	A	2,7	-	0,80	-	-
	B	2,8	-	0,80	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	87,5	91,9	93,2
	B	61,7	-	87,4	91,8	93,1
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,3
	B	-	-	-	-	2,2
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	416
	B	756	-	-	-	420

Quadro 20. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)D- O₃=3 kg/tas pH=4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	-
pH final	A	11,7	3,8	2,9	6,8	5,3
	B	11,7	3,8	3,0	6,8	5,4
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	55	100	97,8
Número Kappa	A	2,7	-	0,90	-	-
	B	2,8	-	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	85,6	91,4	92,5
	B	61,7	-	85,6	91,4	92,6
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,1
	B	-	-	-	-	2,1
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	410
	B	756	-	-	-	409

Quadro 21. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)D- O₃=3 kg/tas pH=5,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	-
pH final	A	11,7	4,8	3,0	6,8	5,2
	B	11,7	4,8	3,0	6,8	5,3
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	36	100	98,6
Número Kappa	A	2,7	-	0,90	-	-
	B	2,8	-	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	85,0	90,9	92,3
	B	61,7	-	85,1	91,0	92,2
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,2
	B	-	-	-	-	2,1
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	403
	B	756	-	-	-	407

Quadro 22. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)D- O₃=4 kg/tas pH=3,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	-
pH final	A	11,7	3,1	2,6	6,8	5,1
	B	11,7	3,0	2,6	6,8	5,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	57	100	93
Número Kappa	A	2,7	-	0,70	-	-
	B	2,8	-	0,70	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	88,1	92,0	93,5
	B	61,7	-	88,1	92,0	93,5
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,7
	B	-	-	-	-	2,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	417
	B	756	-	-	-	416

Quadro 23. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)D- O₃=4 kg/tas pH=4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,8
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	-
pH final	A	11,7	3,9	3,0	6,8	5,2
	B	11,7	4,0	3,0	6,8	5,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	50	100	98
Número Kappa	A	2,7	-	0,60	-	-
	B	2,8	-	0,60	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	86,9		93,0
	B	61,7	-	86,9		93,1
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,6
	B	-	-	-	-	2,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	398
	B	756	-	-	-	405

Quadro 24. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EH)D- O₃=4 kg/tas pH=5,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EH	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	1,3	-
pH final	A	11,7	4,7	2,9	6,8	10,7
	B	11,7	4,7	2,9	6,8	5,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	98	33	100	5,1
Número Kappa	A	2,7	-	0,55	-	-
	B	2,8	-	0,55	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	85,9	91,3	92,7
	B	61,7	-	85,8	91,3	92,7
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,4
	B	-	-	-	-	2,5
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	388
	B	756	-	-	-	388

Quadro 25. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)P- O₃=3 kg/tas pH=3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/t	-	-	-	-	4	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-	-
NaOH, kg/t	-	18	-	-	9,0	1,5
pH final	A	11,7	3,1	2,5	11,2	10,8
	B	11,7	3,0	2,5	11,2	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	40	78,0	85
Número Kappa	A	2,7	-	0,80	-	-
	B	2,8	-	0,80	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	86,8	90,3	91,1
	B	61,7	-	86,7	90,3	91,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,6
	B	-	-	-	-	1,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	450
	B	756	-	-	-	454

Quadro 26. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)P- O₃=3 kg/tas pH=4,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	9,0	1,5
pH final	A	11,7	3,9	3,1	11,3	11,0
	B	11,7	3,9	3,0	11,1	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	36	81	92
Número Kappa	A	2,7	-	0,90	-	-
	B	2,8	-	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	85,3	90	90,5
	B	61,7	-	85,4	90	90,6
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,4
	B	-	-	-	-	1,4
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	428
	B	756	-	-	-	427

Quadro 27. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)P- O₃=3 kg/tas pH=5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	8,0	1,5
pH final	A	11,7	4,8	3,1	11,2	10,9
	B	11,7	4,8	3,0	11,1	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	25	79	84,5
Número Kappa	A	2,7	-	0,90	-	-
	B	2,8	-	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	84,9	89,5	90,3
	B	61,7	-	84,9	89,4	90,2
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,7
	B	-	-	-	-	1,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	420
	B	756	-	-	-	426

Quadro 28. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)P- O₃=4 kg/tas pH=3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/t	-	-	5,2	-	-	-
NaOH, kg/t	-	18	-	-	9,0	1,5
pH final	A	11,7	2,9	2,5	11,3	11,0
	B	11,7	3,0	2,6	11,2	10,9
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	60	80	89
Número Kappa	A	2,7	-	0,70	-	-
	B	2,8	-	0,70	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	87,8	91,2	92,1
	B	61,7	-	87,8	91,1	92,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,6
	B	-	-	-	-	1,5
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	443
	B	756	-	-	-	437

Quadro 29. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)P- O₃=4 kg/tas pH=4,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	9,0	1,5
pH final	A	11,7	3,8	2,9	11,1	10,8
	B	11,7	3,8	2,9	11,2	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	30	82,5	90,3
Número Kappa	A	2,7	-	0,60	-	-
	B	2,8	-	0,60	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	87,0	90,7	91,9
	B	61,7	-	87,0	90,6	92,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,6
	B	-	-	-	-	1,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	421
	B	756	-	-	-	427

Quadro 30. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)P- O₃=4 kg/tas pH=5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	8,0	2,5
pH final	A	11,7	4,7	3,0	11,2	10,9
	B	11,7	4,7	2,9	11,2	10,9
Consumo de Reagentes, %	-	-	97	26	83,9	92,1
Número Kappa	A	2,7	-	0,60	-	-
	B	2,8	-	0,60	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	86,3	90,1	91,2
	B	61,7	-	86,3	90,1	91,1
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,0
	B	-	-	-	-	1,9
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	415
	B	756	-	-	-	413

Quadro 31. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)P- O₃=3 kg/tas pH=3,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	9,0	1,5
pH final	A	11,7	3,0	2,6	11,0	10,7
	B	11,7	3,0	2,6	10,9	10,7
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	60	77,8	90,2
Número Kappa	A	2,7	-	0,80	-	-
	B	2,8	-	0,80	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	87,5	90,9	91,4
	B	61,7	-	87,4	90,9	91,5
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,5
	B	-	-	-	-	1,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	463
	B	756	-	-	-	461

Quadro 32. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)P- O₃=3 kg/tas pH=4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/t	-	-	-	-	4	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	9	1,5
pH final	A	11,7	3,8	2,9	11,1	10,9
	B	11,7	3,8	3,0	11,1	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	55	78,6	88,9
Número Kappa	A	2,7	-	0,90	-	-
	B	2,8	-	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	85,6	90,2	91,3
	B	61,7	-	85,6	90,1	91,3
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,5
	B	-	-	-	-	1,4
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	457
	B	756	-	-	-	453

Quadro 33. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)P- O₃=3 kg/tas pH=5,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	8,0	2,5
pH final	A	11,7	4,8	3,0	6,8	10,7
	B	11,7	4,8	3,0	6,8	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	36	100	90,7
Número Kappa	A	2,7	-	0,90	-	-
	B	2,8	-	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	85,0	90,9	91,7
	B	61,7	-	85,1	91,0	91,7
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2,5
	B	-	-	-	-	2,5
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	372
	B	756	-	-	-	373

Quadro 34. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)P- O₃=4 kg/tas pH=3,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	9,0	1,5
pH final	A	11,7	3,1	2,6	11,2	11,0
	B	11,7	3,0	2,6	11,0	10,9
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	57	79,7	88,2
Número Kappa	A	2,7	-	0,70	-	-
	B	2,8	-	0,70	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	88,1	91,3	92,1
	B	61,7	-	88,1	91,2	92,1
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,7
	B	-	-	-	-	1,8
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	415
	B	756	-	-	-	422

Quadro 35. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)P- O₃=4 kg/tas pH=4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	9,0	1,5
pH final	A	11,7	3,9	3,0	11,2	10,9
	B	11,7	4,0	3,0	11,2	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	50	80,4	88,0
Número Kappa	A	2,7	-	0,60	-	-
	B	2,8	-	0,60	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	86,9	90,9	91,8
	B	61,7	-	86,9	90,8	91,8
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,5
	B	-	-	-	-	1,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	409
	B	756	-	-	-	414

Quadro 36. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)P- O₃=4 kg/tas pH=5,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	P
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	1
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	8,0	1,5
pH final	A	11,7	4,7	2,9	11,1	10,8
	B	11,7	4,7	2,9	11,1	10,7
Consumo de Reagentes, %	-	-	98	33	77,7	89,9
Número Kappa	A	2,7	-	0,55	-	-
	B	2,8	-	0,55	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	85,9	90,2	91,1
	B	61,7	-	85,8	90,1	91,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	2
	B	-	-	-	-	2
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	378
	B	756	-	-	-	383

Quadro 37. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)D- O₃=3 kg/tas pH=3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	70	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-	0,50
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	9,0	-
pH final	A	11,7	3,1	2,5	11,2	5,7
	B	11,7	3,0	2,5	11,2	5,7
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	40	78,0	95,0
Número Kappa	A	2,7	-	0,80	-	-
	B	2,8	-	0,80	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	86,8	90,3	93,2
	B	61,7	-	86,7	90,3	93,1
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,5
	B	-	-	-	-	1,5
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	440
	B	756	-	-	-	446

Quadro 38. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)D- O₃=3 kg/tas pH=4,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-	0,50
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	9,0	-
pH final	A	11,7	3,9	3,1	11,3	5,6
	B	11,7	3,9	3,0	11,1	5,5
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	36	81	93
Número Kappa	A	2,7	-	0,90	-	-
	B	2,8	-	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	85,3	90	92,9
	B	61,7	-	85,4	90	92,9
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,5
	B	-	-	-	-	1,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	440
	B	756	-	-	-	441

Quadro 39. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)D- O₃=3 kg/tas pH=5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-	0,50
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	8,0	-
pH final	A	11,7	4,8	3,1	11,2	5,4
	B	11,7	4,8	3,0	11,1	5,4
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	25	79	91,7
Número Kappa	A	2,7	-	0,90	-	-
	B	2,8	-	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	84,9	89,5	92,7
	B	61,7	-	84,9	89,4	92,6
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,4
	B	-	-	-	-	1,4
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	410
	B	756	-	-	-	402

Quadro 40. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)D- O₃=4 kg/tas pH=3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-	0,50
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	9,0	-
pH final	A	11,7	2,9	2,5	11,3	5,7
	B	11,7	3,0	2,6	11,2	5,5
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	60	80	96,5
Número Kappa	A	2,7	-	0,70	-	-
	B	2,8	-	0,70	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	87,8	91,2	93,8
	B	61,7	-	87,8	91,1	93,8
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,6
	B	-	-	-	-	1,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	452
	B	756	-	-	-	459

Quadro 41. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)D- O₃=4 kg/tas pH=4,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-	0,50
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	9,0	-
pH final	A	11,7	3,8	2,9	11,1	5,6
	B	11,7	3,8	2,9	11,2	5,4
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	30	82,5	94,2
Número Kappa	A	2,7	-	0,60	-	-
	B	2,8	-	0,60	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	87,0	90,7	93,7
	B	61,7	-	87,0	90,6	93,6
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,7
	B	-	-	-	-	1,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	429
	B	756	-	-	-	433

Quadro 42. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)D- O₃= 4 kg/tas pH=5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-	0,50
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	8,0	-
pH final	A	11,7	4,7	3,0	11,2	5,6
	B	11,7	4,7	2,9	11,2	5,6
Consumo de Reagentes, %	-	-	97	26	83,9	92,1
Número Kappa	A	2,7	-	0,55	-	-
	B	2,8	-	0,55	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	86,3	90,1	93,4
	B	61,7	-	86,3	90,1	93,5
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,8
	B	-	-	-	-	1,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	406
	B	756	-	-	-	405

Quadro 43. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)D- O₃=3 kg/tas pH=3,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-	0,5
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	9,0	-
pH final	A	11,7	3,0	2,6	11,0	5,5
	B	11,7	3,0	2,6	10,9	5,4
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	60	77,8	92,1
Número Kappa	A	2,7	-	0,80	-	-
	B	2,8	-	0,80	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	87,5	90,9	93,4
	B	61,7	-	87,4	90,9	93,4
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,8
	B	-	-	-	-	1,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	462
	B	756	-	-	-	457

Quadro 44. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)D- O₃=3 kg/tas pH=4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,8
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-	0,5
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	9	-
pH final	A	11,7	3,8	2,9	11,1	5,7
	B	11,7	3,8	3,0	11,1	5,5
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	55	78,6	87,4
Número Kappa	A	2,7	-	0,90	-	-
	B	2,8	-	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	85,6	90,2	92,7
	B	61,7	-	85,6	90,1	92,7
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,7
	B	-	-	-	-	1,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	445
	B	756	-	-	-	456

Quadro 45. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)D- O₃=3 kg/tas pH=5,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-	0,50
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	8,0	-
pH final	A	11,7	4,8	3,0	6,8	5,6
	B	11,7	4,8	3,0	6,8	5,5
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	36	100	87,6
Número Kappa	A	2,7	-	0,90	-	-
	B	2,8	-	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	85,0	90,9	92,4
	B	61,7	-	85,1	91,0	92,3
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,5
	B	-	-	-	-	1,5
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	423
	B	756	-	-	-	417

Quadro 46. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)D- O₃=4 kg/tas pH=3,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-	0,50
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	9,0	-
pH final	A	11,7	3,1	2,6	11,2	5,4
	B	11,7	3,0	2,6	11,0	5,4
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	57	79,7	91,2
Número Kappa	A	2,7	-	0,70	-	-
	B	2,8	-	0,70	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	88,1	91,3	93,9
	B	61,7	-	88,1	91,2	93,8
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,6
	B	-	-	-	-	1,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	444
	B	756	-	-	-	438

Quadro 47. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)D- kg/tas
O₃=4 pH=4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-	0,50
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	9,0	-
pH final	A	11,7	3,9	3,0	11,2	5,6
	B	11,7	4,0	3,0	11,2	5,6
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	50	80,4	89,4
Número Kappa	A	2,7	-	0,60	-	-
	B	2,8	-	0,60	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	86,9	90,9	93,5
	B	61,7	-	86,9	90,8	93,5
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,5
	B	-	-	-	-	1,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	409
	B	756	-	-	-	416

Quadro 48. Resultados experimentais do branqueamento – OZ/D(EP)D- O₃=4 kg/tas pH=5,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de Branqueamento					
	Rep.	O	Z/D		EP	D
	-		Z	D		
Consistência, %	-	12	12	-	10	12
Tempo, min	-	75	2	15	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	5	-	0,80
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	4	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-	0,50
NaOH, kg/tas	-	18	-	-	8,0	-
pH final	A	11,7	4,7	2,9	11,1	5,5
	B	11,7	4,7	2,9	11,1	5,6
Consumo de Reagentes, %	-	-	98	33	77,7	89,8
Número Kappa	A	2,7	-	0,55	-	-
	B	2,8	-	0,55	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	-	85,9	90,2	93,4
	B	61,7	-	85,8	90,1	93,4
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	-	1,7
	B	-	-	-	-	1,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	-	396
	B	756	-	-	-	403

Quadro 49. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EP)P-** $O_3=3$ kg/tas pH=3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	9	3
pH final	A	11,7	3,1	11,1	10,8
	B	11,7	3,0	11,0	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	76,0	89,7
Número Kappa	A	2,7	1,0	-	-
	B	2,8	1,0	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	83,7	88,6	90,1
	B	61,7	83,6	88,6	90,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,8
	B	-	-	-	1,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	504
	B	756	-	-	498

Quadro 50. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EP)P-** $O_3=3$ kg/tas pH=4,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	9	3
pH final	A	11,7	3,9	11,2	10,9
	B	11,7	3,8	11,1	10,8
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	77,5	89,0
Número Kappa	A	2,7	1,0	-	-
	B	2,8	1,1	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	81,5	87,7	89,8
	B	61,7	81,5	87,6	89,8
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,5
	B	-	-	-	1,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	452
	B	756	-	-	455

Quadro 51. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EP)P-** $O_3=3$ kg/tas pH=5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	8	3
pH final	A	11,7	4,8	10,9	11,0
	B	11,7	4,8	10,9	11,0
Consumo de Reagentes, %	-	-	99	80,0	90,5
Número Kappa	A	2,7	1,2	-	-
	B	2,8	1,2	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	80,0	86,9	89,0
	B	61,7	79,9	86,8	89,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,6
	B	-	-	-	1,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	434
	B	756	-	-	438

Quadro 52. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EP)P-** $O_3=4$ kg/tas pH=3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	9	3
pH final	A	11,7	3,0	11,0	11,0
	B	11,7	3,0	11,1	11,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	91,0	93,5
Número Kappa	A	2,7	0,90	-	-
	B	2,8	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	83,4	89,2	90,4
	B	61,7	83,3	89,1	90,4
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,0
	B	-	-	-	1,9
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	479
	B	756	-	-	485

Quadro 53. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EP)P-** $O_3=4$ kg/tas pH=4,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	9	3
pH final	A	11,7	3,8	10,9	11,0
	B	11,7	3,8	11,0	11,0
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	88,0	90,0
Número Kappa	A	2,7	1,1	-	-
	B	2,8	1,1	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	82,3	88,3	90,0
	B	61,7	82,2	88,2	90,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,0
	B	-	-	-	2,0
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	438
	B	756	-	-	438

Quadro 54. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EP)P-** $O_3=4$ kg/tas pH=5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	8	3
pH final	A	11,7	4,7	11,0	10,9
	B	11,7	4,7	11,0	10,9
Consumo de Reagentes, %	-	-	97,0	76,0	89,0
Número Kappa	A	2,7	1,3	-	-
	B	2,8	1,3	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	80,8	87,4	89,6
	B	61,7	80,9	87,3	89,5
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,8
	B	-	-	-	1,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	424
	B	756	-	-	428

Quadro 55. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EP)P-** $O_3=3$ kg/tas pH=3,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	9	3
pH final	A	11,7	3,1	11,1	10,9
	B	11,7	3,1	11,1	10,9
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	92,4	95,0
Número Kappa	A	2,7	1,0	-	-
	B	2,8	1,0	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	82,8	88,1	88,8
	B	61,7	82,7	88,0	88,7
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,0
	B	-	-	-	1,9
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	453
	B	756	-	-	447

Quadro 56. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EP)P-** $O_3=3$ kg/tas pH=4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	9	3
pH final	A	11,7	3,9	10,8	11,0
	B	11,7	3,8	10,9	11,0
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	91,0	92,0
Número Kappa	A	2,7	1,3	-	-
	B	2,8	1,2	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	80,3	86,0	87,9
	B	61,7	80,2	86,0	87,8
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,8
	B	-	-	-	1,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	439
	B	756	-	-	443

Quadro 57. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EP)P-** $O_3=3$ kg/tas pH=5,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	8	3
pH final	A	11,7	4,8	10,8	11,0
	B	11,7	4,7	10,8	11,0
Consumo de Reagentes, %	-	-	98,0	90,0	92,0
Número Kappa	A	2,7	1,6	-	-
	B	2,8	1,6	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	78,0	85,0	87,0
	B	61,7	79,9	85,0	87,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,7
	B	-	-	-	1,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	422
	B	756	-	-	423

Quadro 58. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EP)P- O₃=4 kg/tas pH=3,0 T= 70°C.**

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	9	3
pH final	A	11,7	3,1	11,0	11,0
	B	11,7	3,0	10,9	11,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	91,8	95,0
Número Kappa	A	2,7	1,1	-	-
	B	2,8	1,1	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	81,7	88,7	89,1
	B	61,7	81,6	88,6	89,1
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,0
	B	-	-	-	1,9
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	448
	B	756	-	-	442

Quadro 59. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EP)P-** $O_3=4$ kg/tas pH=4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	9	3
pH final	A	11,7	3,8	11,0	11,0
	B	11,7	3,8	11,0	10,9
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	99,2	93,0
Número Kappa	A	2,7	1,2	-	-
	B	2,8	1,2	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	81,1	87,0	88,7
	B	61,7	81,1	86,9	88,7
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,9
	B	-	-	-	1,8
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	438
	B	756	-	-	430

Quadro 60. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EP)P- O₃=4 kg/tas pH=5,0 T= 70°C.**

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	8	3
pH final	A	11,7	4,8	10,8	11,0
	B	11,7	4,7	10,9	11,0
Consumo de Reagentes, %	-	-	97,0	86,0	89,4
Número Kappa	A	2,7	1,4	-	-
	B	2,8	1,4	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	78,3	85,3	87,2
	B	61,7	78,2	85,3	87,1
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,9
	B	-	-	-	1,9
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	422
	B	756	-	-	418

Quadro 61. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EP)D-** $O_3=3$ kg/tas pH=3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	70	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	0,3
NaOH, kg/tas	-	18	-	9	-
pH final	A	11,7	3,1	11,1	5,3
	B	11,7	3,0	11,0	5,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	76,0	97,8
Número Kappa	A	2,7	1,0	-	-
	B	2,8	1,0	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	83,7	88,6	92,2
	B	61,7	83,6	88,6	92,1
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,4
	B	-	-	-	1,4
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	484
	B	756	-	-	485

Quadro 62. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EP)D-** $O_3=3$ kg/tas pH=4,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	70	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	0,3
NaOH, kg/tas	-	18	-	9	-
pH final	A	11,7	3,9	11,2	5,1
	B	11,7	3,8	11,1	5,0
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	77,5	95,0
Número Kappa	A	2,7	1,1	-	-
	B	2,8	1,0	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	81,5	87,7	92,0
	B	61,7	81,5	87,6	91,9
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,8
	B	-	-	-	1,8
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	447
	B	756	-	-	452

Quadro 63. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EP)D-** $O_3=3$ kg/tas pH=5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	70	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	0,3
NaOH, kg/tas	-	18	-	8	-
pH final	A	11,7	4,8	10,9	5,1
	B	11,7	4,8	10,9	5,0
Consumo de Reagentes, %	-	-	99	80,0	95,0
Número Kappa	A	2,7	1,2	-	-
	B	2,8	1,2	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	80,0	86,9	92,0
	B	61,7	79,9	86,8	91,9
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,8
	B	-	-	-	1,8
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	440
	B	756	-	-	434

Quadro 64. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EP)D-** $O_3=4$ kg/tas pH=3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	70	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	0,3
NaOH, kg/tas	-	18	-	9	-
pH final	A	11,7	3,9	11,0	5,2
	B	11,7	4,0	10,9	5,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	77,0	90,1
Número Kappa	A	2,7	0,90	-	-
	B	2,8	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	82,8	89,2	92,3
	B	61,7	82,8	89,1	92,3
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,5
	B	-	-	-	1,5
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	464
	B	756	-	-	475

Quadro 65. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EP)D-** $O_3=4$ kg/tas pH=4,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	70	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	0,3
NaOH, kg/tas	-	18	-	9	-
pH final	A	11,7	3,8	10,9	5,2
	B	11,7	3,8	11,0	5,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	88,0	89,0
Número Kappa	A	2,7	1,1	-	-
	B	2,8	1,1	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	82,3	88,3	92,1
	B	61,7	82,2	88,2	92,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,0
	B	-	-	-	1,9
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	444
	B	756	-	-	442

Quadro 66. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EP)D-** $O_3=4$ kg/tas pH=5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	55	70	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	0,3
NaOH, kg/tas	-	18	-	8	-
pH final	A	11,7	4,7	11,0	5,2
	B	11,7	4,7	11,0	5,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	97,0	76,0	89,0
Número Kappa	A	2,7	1,3	-	-
	B	2,8	1,3	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	80,8	87,4	91,8
	B	61,7	80,9	87,3	91,7
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,0
	B	-	-	-	2,0
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	423
	B	756	-	-	430

Quadro 67. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EP)D-** $O_3=3$ kg/tas pH=3,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	0,3
NaOH, kg/tas	-	18	-	9	-
pH final	A	11,7	3,1	11,1	5,1
	B	11,7	3,1	11,1	5,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	92,4	92,4
Número Kappa	A	2,7	1,0	-	-
	B	2,8	1,0	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	82,8	88,1	91,5
	B	61,7	82,7	88,0	91,4
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,7
	B	-	-	-	1,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	470
	B	756	-	-	471

Quadro 68. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EP)D-** $O_3=3$ kg/tas pH=4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	0,3
NaOH, kg/tas	-	18	-	9	-
pH final	A	11,7	3,9	10,8	5,0
	B	11,7	3,8	10,9	5,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	91,0	88,1
Número Kappa	A	2,7	1,3	-	-
	B	2,8	1,3	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	80,3	86,0	90,3
	B	61,7	80,2	86,0	90,3
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,7
	B	-	-	-	1,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	440
	B	756	-	-	447

Quadro 69. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EP)D-** $O_3=3$ kg/tas pH=5,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	0,3
NaOH, kg/tas	-	18	-	8	-
pH final	A	11,7	4,8	10,8	5,2
	B	11,7	4,7	10,8	5,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	98,0	90,0	87,3
Número Kappa	A	2,7	1,6	-	-
	B	2,8	1,6	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	78,0	85,0	90,1
	B	61,7	79,9	85,0	90,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,4
	B	-	-	-	1,4
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	427
	B	756	-	-	433

Quadro 70. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EP)D-** $O_3=4$ kg/tas pH=3,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	0,3
NaOH, kg/tas	-	18	-	9	-
pH final	A	11,7	3,1	11,0	5,0
	B	11,7	3,0	10,9	5,0
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	91,8	90,2
Número Kappa	A	2,7	1,0	-	-
	B	2,8	1,0	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	81,7	88,7	91,8
	B	61,7	81,6	88,6	91,7
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,7
	B	-	-	-	1,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	464
	B	756	-	-	463

Quadro 71. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EP)D-** $O_3=4$ kg/tas pH=4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	0,3
NaOH, kg/tas	-	18	-	9	-
pH final	A	11,7	3,8	11,0	5,1
	B	11,7	3,8	11,0	5,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	99,2	87,8
Número Kappa	A	2,7	1,2	-	-
	B	2,8	1,2	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	81,1	87,0	90,7
	B	61,7	81,1	86,9	90,7
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,6
	B	-	-	-	1,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	438
	B	756	-	-	445

Quadro 72. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EP)D-** $O_3=4$ kg/tas pH=5,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EP	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	120	180
Temperatura, °C	-	105	70	70	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	0,3
NaOH, kg/tas	-	18	-	8	-
pH final	A	11,7	4,8	10,8	5,2
	B	11,7	4,7	10,9	5,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	97,0	86,0	86,0
Número Kappa	A	2,7	1,4	-	-
	B	2,8	1,4	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	78,3	85,3	90,4
	B	61,7	78,2	85,3	90,3
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,6
	B	-	-	-	1,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	420
	B	756	-	-	424

Quadro 73. Resultados experimentais do branqueamento – OZ(EH)P- O₃=3 kg/tas pH=3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	1,1	5,0
pH final	A	11,7	3,1	6,9	11,0
	B	11,7	3,0	6,8	11,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	99,0	90,1
Número Kappa	A	2,7	1,0	-	-
	B	2,8	1,0	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	83,7	89,3	91,4
	B	61,7	83,6	89,2	91,5
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,7
	B	-	-	-	1,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	428
	B	756	-	-	432

Quadro 74. Resultados experimentais do branqueamento – OZ(EH)P- O₃=3 kg/tas pH=4,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	2
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	1,1	5,0
pH final	A	11,7	3,9	7,0	11,0
	B	11,7	3,8	7,1	10,9
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	100,0	89,3
Número Kappa	A	2,7	1,0	-	-
	B	2,8	1,1	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	81,5	88,7	90,8
	B	61,7	81,5	88,6	90,7
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,6
	B	-	-	-	1,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	420
	B	756	-	-	421

Quadro 75. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EH)P-** $O_3=3$ kg/tas pH=5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	10	180
Temperatura, °C	-	105	55	90	75
Pressão, kPa	-	600	-	55	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	0,7	5
pH final	A	11,7	4,8	7,0	11,1
	B	11,7	4,8	7,2	11,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	99	100	89,3
Número Kappa	A	2,7	1,2	-	-
	B	2,8	1,2	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	80,0	87,8	90,4
	B	61,7	79,9	87,8	90,3
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,5
	B	-	-	-	1,5
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	376
	B	756	-	-	384

Quadro 76. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EH)P- O₃=4 kg/tas pH=3,0 T= 55°C.**

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	1,1	5
pH final	A	11,7	3,9	7,0	11,1
	B	11,7	4,0	7,0	11,0
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	99,0	88,5
Número Kappa	A	2,7	0,90	-	-
	B	2,8	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	82,8	90,1	91,9
	B	61,7	82,8	90,0	91,9
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,0
	B	-	-	-	1,9
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	405
	B	756	-	-	414

Quadro 77. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EH)P-** $O_3=4$ kg/tas pH=4,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	1,1	5
pH final	A	11,7	3,8	6,8	11,1
	B	11,7	3,8	6,9	11,3
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	100	89,6
Número Kappa	A	2,7	1,1	-	-
	B	2,8	1,1	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	82,3	89,2	91,4
	B	61,7	82,2	89,1	91,3
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,2
	B	-	-	-	2,1
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	389
	B	756	-	-	388

Quadro 78. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EH)P- O₃=4 kg/tas pH=5,0 T= 55°C.**

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	0,70	5
pH final	A	11,7	4,7	6,9	11,1
	B	11,7	4,7	6,9	11,0
Consumo de Reagentes, %	-	-	97,0	100	88,2
Número Kappa	A	2,7	1,3	-	-
	B	2,8	1,3	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	80,8	88,3	91,0
	B	61,7	80,9	88,3	91,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,3
	B	-	-	-	2,2
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	369
	B	756	-	-	360

Quadro 79. Resultados experimentais do branqueamento - OZ(EH)P- O₃=3 kg/tas pH=3,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	1,1	5
pH final	A	11,7	3,1	6,9	11,0
	B	11,7	3,1	6,7	11,0
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	100	92,0
Número Kappa	A	2,7	1,0	-	-
	B	2,8	1,0	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	82,8	89,3	90,0
	B	61,7	82,7	89,2	90,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,9
	B	-	-	-	1,8
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	422
	B	756	-	-	417

Quadro 80. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EH)P-** $O_3=3$ kg/tas pH=4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	1,1	5
pH final	A	11,7	3,9	6,8	11,0
	B	11,7	3,8	6,7	11,0
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	100	90,7
Número Kappa	A	2,7	1,3	-	-
	B	2,8	1,3	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	80,3	88,1	90,6
	B	61,7	80,2	88,0	90,5
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,1
	B	-	-	-	2,0
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	405
	B	756	-	-	397

Quadro 81. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EH)P-** $O_3=3$ kg/tas pH=5,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	0,70	5
pH final	A	11,7	4,8	6,8	11,2
	B	11,7	4,7	6,9	11,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	98,0	100	90,1
Número Kappa	A	2,7	1,6	-	-
	B	2,8	1,6	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	78,0	86,7	89,9
	B	61,7	79,9	86,6	89,9
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,0
	B	-	-	-	1,9
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	368
	B	756	-	-	373

Quadro 82. Resultados experimentais do branqueamento - OZ(EH)P- O₃=4 kg/tas pH=3,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	1,1	5
pH final	A	11,7	3,1	7,0	11,1
	B	11,7	3,0	6,9	11,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	100	92,6
Número Kappa	A	2,7	1,1	-	-
	B	2,8	1,1	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	81,7	89,8	91,2
	B	61,7	81,6	89,8	91,1
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,8
	B	-	-	-	1,8
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	411
	B	756	-	-	408

Quadro 83. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EH)P- O₃=4 kg/tas pH=4,0 T= 70°C.**

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	1,1	5
pH final	A	11,7	3,8	7,1	11,1
	B	11,7	3,8	6,9	11,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	100	89,8
Número Kappa	A	2,7	1,2	-	-
	B	2,8	1,2	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	81,1	88,9	90,7
	B	61,7	81,1	88,8	90,6
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	1,7
	B	-	-	-	1,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	370
	B	756	-	-	368

Quadro 84. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EH)P- O₃=4 kg/tas pH=5,0 T= 70°C.**

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	P
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	55	75
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	0,70	5
pH final	A	11,7	4,8	7,1	11,1
	B	11,7	4,7	7,0	11,0
Consumo de Reagentes, %	-	-	97,0	100	88,1
Número Kappa	A	2,7	1,4	-	-
	B	2,8	1,4	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	78,3	87,1	90,2
	B	61,7	78,2	87,1	90,1
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,1
	B	-	-	-	2,1
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	355
	B	756	-	-	364

Quadro 85. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EH)D-** $O_3=3$ kg/tas pH=3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	1,1	0,30
pH final	A	11,7	3,1	6,9	5,6
	B	11,7	3,0	6,8	5,6
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	99,0	98
Número Kappa	A	2,7	1,0	-	-
	B	2,8	1,0	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	83,7	89,3	92,5
	B	61,7	83,6	89,2	92,4
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,0
	B	-	-	-	2,0
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	479
	B	756	-	-	471

Quadro 86. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EH)D-** $O_3=3$ kg/tas pH=4,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	1,1	0,30
pH final	A	11,7	3,9	7,0	5,4
	B	11,7	3,8	7,1	5,6
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	100,0	99
Número Kappa	A	2,7	1,0	-	-
	B	2,8	1,1	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	81,5	88,7	91,8
	B	61,7	81,5	88,6	91,7
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,2
	B	-	-	-	2,1
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	466
	B	756	-	-	464

Quadro 87. Resultados experimentais do branqueamento – **OZ(EH)D-** O₃=3 kg/tas pH=5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	10	180
Temperatura, °C	-	105	55	90	80
Pressão, kPa	-	600	-	55	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	0,70	0,30
pH final	A	11,7	4,8	7,0	5,4
	B	11,7	4,8	7,2	5,3
Consumo de Reagentes, %	-	-	99	100	98
Número Kappa	A	2,7	1,2	-	-
	B	2,8	1,2	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	80,0	87,8	91,1
	B	61,7	79,9	87,8	91,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,3
	B	-	-	-	2,2
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	450
	B	756	-	-	457

Quadro 88. Resultados experimentais do branqueamento - OZ(EH)D- O₃=4 kg/tas pH=3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	1,1	0,30
pH final	A	11,7	3,9	7,0	5,3
	B	11,7	4,0	7,0	5,3
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	99,0	98
Número Kappa	A	2,7	0,90	-	-
	B	2,8	0,90	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	82,8	90,1	92,6
	B	61,7	82,8	90,0	92,6
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,7
	B	-	-	-	2,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	457
	B	756	-	-	461

Quadro 89. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EH)D- O₃=4 kg/tas pH=4,0 T= 55°C.**

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	1,1	0,30
pH final	A	11,7	3,8	6,8	5,2
	B	11,7	3,8	6,9	5,4
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	100	99
Número Kappa	A	2,7	1,1	-	-
	B	2,8	1,1	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	82,3	89,2	91,9
	B	61,7	82,2	89,1	91,8
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,4
	B	-	-	-	2,3
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	422
	B	756	-	-	427

Quadro 90. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EH)D-** $O_3=4$ kg/tas pH=5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	55	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	0,70	0,30
pH final	A	11,7	4,7	6,9	5,2
	B	11,7	4,7	6,9	5,4
Consumo de Reagentes, %	-	-	97,0	100	97
Número Kappa	A	2,7	1,3	-	-
	B	2,8	1,3	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	80,8	88,3	91,3
	B	61,7	80,9	88,3	91,2
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,4
	B	-	-	-	2,4
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	430
	B	756	-	-	429

Quadro 91. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EH)D-** $O_3=3$ kg/tas pH=3,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	1,1	0,30
pH final	A	11,7	3,1	6,9	5,3
	B	11,7	3,1	6,7	5,4
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	100	98
Número Kappa	A	2,7	1,0	-	-
	B	2,8	1,0	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	82,8	89,3	91,4
	B	61,7	82,7	89,2	91,3
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,8
	B	-	-	-	2,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	457
	B	756	-	-	453

Quadro 92. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EH)D-** $O_3=3$ kg/tas pH=4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	1,1	0,30
pH final	A	11,7	3,9	6,8	5,3
	B	11,7	3,8	6,7	5,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	100	97
Número Kappa	A	2,7	1,3	-	-
	B	2,8	1,3	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	80,3	88,1	91,1
	B	61,7	80,2	88,0	91,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,6
	B	-	-	-	2,6
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	438
	B	756	-	-	442

Quadro 93. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EH)D-** $O_3=3$ kg/tas pH=5,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	0,70	0,30
pH final	A	11,7	4,8	6,8	5,1
	B	11,7	4,7	6,9	5,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	98,0	100	97
Número Kappa	A	2,7	1,6	-	-
	B	2,8	1,6	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	78,0	86,7	90,3
	B	61,7	79,9	86,6	90,3
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,2
	B	-	-	-	2,1
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	433
	B	756	-	-	437

Quadro 94. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EH)D- O₃=4 kg/tas pH=3,0 T= 70°C.**

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	1,1	0,30
pH final	A	11,7	3,1	7,0	5,2
	B	11,7	3,0	6,9	5,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	100	98,4
Número Kappa	A	2,7	1,1	-	-
	B	2,8	1,1	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	81,7	89,8	91,7
	B	61,7	81,6	89,8	91,6
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,5
	B	-	-	-	2,4
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	429
	B	756	-	-	432

Quadro 95. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EH)D-** $O_3=4$ kg/tas pH=4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	1,1	0,30
pH final	A	11,7	3,8	7,1	5,2
	B	11,7	3,8	6,9	5,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	100	97,3
Número Kappa	A	2,7	1,2	-	-
	B	2,8	1,2	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	81,1	88,9	91,4
	B	61,7	81,1	88,8	91,3
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,4
	B	-	-	-	2,3
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	425
	B	756	-	-	424

Quadro 96. Resultados experimentais do branqueamento - **OZ(EH)D-** $O_3=4$ kg/tas pH=5,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento				
	Rep.	O	Z	EH	D
Consistência, %	-	12	12	10	12
Tempo, min	-	75	2	90	180
Temperatura, °C	-	105	70	55	80
Pressão, kPa	-	600	-	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-	1,59
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	4	-
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	0,70	0,30
pH final	A	11,7	4,8	7,1	5,2
	B	11,7	4,7	7,0	5,3
Consumo de Reagentes, %	-	-	97,0	100	97,0
Número Kappa	A	2,7	1,4	-	-
	B	2,8	1,4	-	-
Alvura, % ISO	A	61,8	78,3	87,1	90,6
	B	61,7	78,2	87,1	90,5
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	-	2,3
	B	-	-	-	2,3
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	-	420
	B	756	-	-	416

Quadro 97. Resultados experimentais do branqueamento – OZP- O₃=3 kg/tas
pH=3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	Rep.	O	Z	P
Consistência, %	-	12	12	10
Tempo, min	-	75	2	120
Temperatura, °C	-	105	55	85
Pressão, kPa	-	600	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	20
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	13
pH final	A	11,7	3,1	11,3
	B	11,7	3,0	11,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	96,1
Número Kappa	A	2,7	1,0	-
	B	2,8	1,0	-
Alvura, % ISO	A	61,8	83,7	90,9
	B	61,7	83,6	90,8
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	1,8
	B	-	-	1,8
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	380
	B	756	-	384

Quadro 98. Resultados experimentais do branqueamento – OZP- O₃=3 kg/tas
pH=4,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	Rep.	O	Z	P
Consistência, %	-	12	12	10
Tempo, min	-	75	2	120
Temperatura, °C	-	105	55	85
Pressão, kPa	-	600	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	-	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	20
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	13
pH final	A	11,7	3,9	11,2
	B	11,7	3,9	11,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	91,7
Número Kappa	A	2,7	1,0	-
	B	2,8	1,1	-
Alvura, % ISO	A	61,8	81,5	90,5
	B	61,7	81,5	90,5
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	1,6
	B	-	-	1,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	354
	B	756	-	350

Quadro 99. Resultados experimentais do branqueamento – OZP- O₃=3 kg/tas
pH=5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	Rep.	O	Z	P
Consistência, %	-	12	12	10
Tempo, min	-	75	2	120
Temperatura, °C	-	105	55	85
Pressão, kPa	-	600	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	20
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	13
pH final	A	11,7	4,8	11,0
	B	11,7	4,8	11,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	99	91,9
Número Kappa	A	2,7	1,2	-
	B	2,8	1,2	-
Alvura, % ISO	A	61,8	80,0	90,0
	B	61,7	80,0	90,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	1,9
	B	-	-	1,8
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	338
	B	756	-	337

Quadro 100. Resultados experimentais do branqueamento – OZP- O₃=4 kg/tas
pH= 3,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	Rep.	O	Z	P
Consistência, %	-	12	12	10
Tempo, min	-	75	2	120
Temperatura, °C	-	105	55	85
Pressão, kPa	-	600	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	20
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	13
pH final	A	11,7	3,0	11,3
	B	11,7	3,0	11,3
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	91,0
Número Kappa	A	2,7	0,90	-
	B	2,8	0,90	-
Alvura, % ISO	A	61,8	83,4	91,3
	B	61,7	83,3	91,2
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	2
	B	-	-	1,9
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	361
	B	756	-	368

Quadro 101. Resultados experimentais do branqueamento – OZP- O₃=4 kg/tas
pH= 4,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	Rep.	O	Z	P
Consistência, %	-	12	12	10
Tempo, min	-	75	2	120
Temperatura, °C	-	105	55	85
Pressão, kPa	-	600	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	20
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	13
pH final	A	11,7	3,8	11,3
	B	11,7	3,8	11,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	89,5
Número Kappa	A	2,7	1,1	-
	B	2,8	1,1	-
Alvura, % ISO	A	61,8	82,3	90,7
	B	61,7	82,3	90,6
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	2,1
	B	-	-	2,0
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	338
	B	756	-	344

Quadro 102. Resultados experimentais do branqueamento – OZP- O₃=4 kg/tas
pH= 5,0 T= 55°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	Rep.	O	Z	P
Consistência, %	-	12	12	10
Tempo, min	-	75	2	120
Temperatura, °C	-	105	55	85
Pressão, kPa	-	600	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	20
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	13
pH final	A	11,7	4,8	11,3
	B	11,7	4,8	11,4
Consumo de Reagentes, %	-	-	98	88,0
Número Kappa	A	2,7	1,3	-
	B	2,8	1,3	-
Alvura, % ISO	A	61,8	80,8	90,3
	B	61,7	80,7	90,2
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	1,9
	B	-	-	1,9
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	330
	B	756	-	335

Quadro 103. Resultados experimentais do branqueamento – OZP- O₃=3 kg/tas
pH= 3,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	Rep.	O	Z	P
Consistência, %	-	12	12	10
Tempo, min	-	75	2	120
Temperatura, °C	-	105	70	85
Pressão, kPa	-	600	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	20
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	13
pH final	A	11,7	3,0	11,1
	B	11,7	3,0	11,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	94
Número Kappa	A	2,7	1,0	-
	B	2,8	1,0	-
Alvura, % ISO	A	61,8	82,8	90,0
	B	61,7	82,7	90,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	2,2
	B	-	-	2,1
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	359
	B	756	-	351

Quadro 104. Resultados experimentais do branqueamento – **OZP- O₃=3 kg/tas**
pH= 4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	Rep.	O	Z	P
Consistência, %	-	12	12	10
Tempo, min	-	75	2	120
Temperatura, °C	-	105	70	85
Pressão, kPa	-	600	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	20
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	13
pH final	A	11,7	3,8	11,2
	B	11,7	3,8	11,3
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	91
Número Kappa	A	2,7	1,3	-
	B	2,8	1,3	-
Alvura, % ISO	A	61,8	80,3	89,5
	B	61,7	80,3	89,5
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	1,7
	B	-	-	1,7
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	338
	B	756	-	342

Quadro 105. Resultados experimentais do branqueamento – OZP- O₃=3 kg/tas
pH= 5,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	Rep.	O	Z	P
Consistência, %	-	12	12	10
Tempo, min	-	75	2	120
Temperatura, °C	-	105	70	85
Pressão, kPa	-	600	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	3	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	20
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	13
pH final	A	11,7	4,7	11,2
	B	11,7	4,7	11,1
Consumo de Reagentes, %	-	-	99	89,8
Número Kappa	A	2,7	1,6	-
	B	2,8	1,6	-
Alvura, % ISO	A	61,8	78,0	89,2
	B	61,7	78,0	89,2
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	2,0
	B	-	-	2,0
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	318
	B	756	-	322

Quadro 106. Resultados experimentais do branqueamento – **OZP- O₃= 4kg/tas**
pH= 3,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	Rep.	O	Z	P
Consistência, %	-	12	12	10
Tempo, min	-	75	2	120
Temperatura, °C	-	105	70	85
Pressão, kPa	-	600	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	20
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	5,2	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	13
pH final	A	11,7	3,0	11,2
	B	11,7	3,0	11,2
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	93,0
Número Kappa	A	2,7	1,1	-
	B	2,8	1,1	-
Alvura, % ISO	A	61,8	81,7	90,3
	B	61,7	81,7	90,3
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	2,2
	B	-	-	2,2
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	358
	B	756	-	350

Quadro 107. Resultados experimentais do branqueamento – **OZP- O₃= 4kg/tas**
pH= 4,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	Rep.	O	Z	P
Consistência, %	-	12	12	10
Tempo, min	-	75	2	120
Temperatura, °C	-	105	70	85
Pressão, kPa	-	600	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	20
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	4,2	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	13
pH final	A	11,7	3,9	11,3
	B	11,7	3,9	11,3
Consumo de Reagentes, %	-	-	100	90,2
Número Kappa	A	2,7	1,2	-
	B	2,8	1,2	-
Alvura, % ISO	A	61,8	81,0	90,0
	B	61,7	81,1	90,0
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	2,1
	B	-	-	2,1
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	343
	B	756	-	339

Quadro 108. Resultados experimentais do branqueamento – OZP- O₃= 4kg/tas
pH= 5,0 T= 70°C.

Condições e Resultados	Estágios de branqueamento			
	Rep.	O	Z	P
Consistência, %	-	12	12	10
Tempo, min	-	75	2	120
Temperatura, °C	-	105	70	85
Pressão, kPa	-	600	-	-
O ₂ , kg/tas	-	18	-	-
O ₃ , kg/tas	-	-	4	-
ClO ₂ como tal, kg/tas	-	-	-	-
NaClO como Cl ₂ , kg/tas	-	-	-	-
H ₂ O ₂ , kg/tas	-	-	-	20
H ₂ SO ₄ , kg/tas	-	-	3,4	-
NaOH, kg/tas	-	18	-	13
pH final	A	11,7	4,7	11,1
	B	11,7	4,7	11,0
Consumo de Reagentes, %	-	-	98	89,8
Número Kappa	A	2,7	1,4	-
	B	2,8	1,4	-
Alvura, % ISO	A	61,8	78,3	89,3
	B	61,7	78,3	89,2
Reversão de Alvura, % ISO	A	-	-	2,2
	B	-	-	2,1
Viscosidade, dm ³ /kg	A	750	-	329
	B	756	-	323