

ANÁLISE DOS RENDIMENTOS OBTIDOS EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE POLPAÇÃO KRAFT E POLPAÇÃO KRAFT/ANTRAQUINONA PARA *Eucalyptus grandis*

Misael de MATOS ¹

Mara Eliza dos SANTOS ²

¹Discente, Faculdades FatiFajar, Jaguariaíva, Paraná, (misaelde.matos@hotmail.com), ²Docente, Faculdades FatiFajar, Jaguariaíva, Paraná, (maraeds@gmail.com)

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os rendimentos das polpas e o efeito da antraquinona (AQ) no processo de polpação Kraft sobre cavacos pré-hidrolisados da madeira de *Eucalyptus grandis* para preparação de polpa celulósica destinada a produção de celulose. A amostra também foi avaliada em relação aos parâmetros físico-químicos. Para a avaliação dos resultados de polpação utilizou o cálculo do Fator H, rendimentos bruto, depurado e de rejeitos. Em cada polpação, utilizou-se as mesmas porcentagens de licor apenas variando a antraquinona, 12,9% de sulfidez para o licor e de 0 a 0,5% de antraquinona. Os resultados obtidos mostraram que o uso de antraquinona no processo de polpação promoveu acréscimos nos rendimentos, além de acelerar a velocidade de deslignificação. A presença da antraquinona pode exercer um acréscimo considerável no rendimento, mas para tal rendimento, é importante equilibrá-lo ao Fator H, pois a elevação do mesmo comprometeu a polpação.

1 INTRODUÇÃO

A madeira é formada de fibras que se acumulam umas sobre as outras ligadas por forças interfibrilares e pela lignina. Para separar essas fibras é necessário utilizar uma certa quantidade de energia, podendo ser física ou química, que irá influenciar a qualidade da pasta produzida. (CARDOSO, 2006, p.147).

Desse modo, pode-se definir o processo de polpação como sendo o processo de separação das fibras da madeira mediante a utilização de energia química e/ ou mecânica. Nos processos químicos de celulose, ocorre uma inter-relação entre as

variáveis temperatura máxima de cozimento e álcali ativo, pois afetam diretamente a taxa de remoção de lignina e a qualidade do produto final, sendo muitas vezes de fácil controle nas operações industriais. (CARDOSO, 2002, p.20).

Hoje o Brasil ocupa a primeira posição entre os países produtores de polpa celulósica, utilizando em sua maior parte, os processos modificados de polpação, o que promove sequências de branqueamento livre de cloro elementar, buscando, através dessas tecnologias, aumentar a eficiência nos processos de polpação, preservando a celulose e diminuindo o impacto ambiental das unidades de produção. (ALMEIDA, 2003).

Uma das questões mais levantadas pelas indústrias de Celulose e Papel hoje em dia é a utilização de aditivos que forneçam um maior rendimento em polpa, que reduzam a poluição e melhore alguns parâmetros importantes de processo, sendo muito forte a indicação de um aditivo em especial, a Antraquinona.

No ano de 1979, o pesquisador e estudioso do setor de celulose José Lívio Gomide, fez grandes descobertas sobre como o aditivo antraquinona pode influenciar no processo de polpação, sendo que o mesmo encontrou resultados satisfatórios em termos de rendimento, e um teor de rejeitos baixo se comparado ao processo convencional de polpação Kraft, o que significa que o aditivo além de aumentar a produtividade, promove a proteção da celulose, com pouca degradação da mesma. (GOMIDE, 1979). Neste sentido, cabe-se ressaltar que o Brasil hoje tem uma tecnologia avançada em relação aos outros países, produzindo celulose de alta qualidade, ao mesmo tempo, sendo responsável com a utilização dos recursos naturais.

A otimização do processo Kraft visa eliminar alguns inconvenientes como os altos custos de capital, altos custos energéticos e necessidade de grandes investimentos, isso impede o crescimento das empresas, que tem uma importante participação no produto interno bruto (PIB) brasileiro.

Este trabalho teve como enfoque principal o estudo da influência da polpação Kraft com antraquinona no rendimento bruto e depurado e nas características da polpa marrom, observando cada etapa do processo, com o intuito de apresentar, de forma clara, como a espécie se comporta durante o processo de cozimento.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REVISÃO DE LITERATURA

2.1.1 características do processo Kraft

O processo Kraft tem como característica uma alta qualidade de celulose. Sendo que na indústria ela é avaliada basicamente pelo teor de lignina, número Kappa, grau de degradação dos carboidratos e propriedades físico – mecânicas. No entanto, estas características podem ser melhoradas se alguns itens do processo forem modificados, como o fator H e a carga alcalina. (JÚNIOR, 1994).

Rendimento depurado x álcali ativo

Tomando como parâmetro o cozimento Lo-Solids, para cavacos de *Eucalyptus grandis*, observou – se que há uma redução significativa do rendimento depurado à medida que se aumenta a dosagem de álcali ativo do processo de polpação, o principal motivo dessa causa está associada à perda de carboidratos, principalmente os polissacarídeos de baixo peso molecular, ocasionado pelas reações de degradação e dissolução dos mesmos, pois como sabemos, a polpação kraft em si tem alta seletividade, uma vez que há a total degradação da lignina pelo licor branco de cozimento, o mesmo começa a degradar também a celulose. (ALMEIDA, 2003).

Rendimento depurado

O rendimento depurado da polpação é de grande importância para a indústria de celulose, sendo que a madeira é a principal fonte de custo da produção, outro fator importante é que se o rendimento da planta de polpação é baixo, gera-se uma maior quantidade de sólidos no licor negro, sendo considerado perda de qualidade no processo. (Júnior, 1997).

Densidade básica x teor de lignina

Estudando madeiras de *Eucalyptus grandis*, com seis anos de idade, percebe-se correlação positiva entre o teor de lignina e a densidade básica e correlação negativa desta com o teor de holocelulose. Segundo os autores, tal fato significa que madeiras

mais densas, dentro de uma mesma espécie, possuem um maior teor de lignina e menor teor de holocelulose. (BARRICHELO e BRITO,1977).

Parâmetros de polpação x deslignificação

Estudando os parâmetros de polpação, a temperatura é a que mais influência na remoção da lignina, quando os outros parâmetros foram mantidos constantes, sendo que o álcali ativo, apresenta uma certa correlação com este efeito, com isso, descobriu-se que o tempo e a sulfidez tem resultados menos pronunciados, desta forma, considerando que os cavacos tem um certo teor de umidade, estes interferem na concentração do álcali. (GOMIDE, 1983).

Densidade básica x produtividade

[...] Altamente relacionada à produção de peso seco de madeira pela floresta e à produtividade do processo de produção de celulose. Os digestores, por exemplo, são enchidos e alimentados base volume, logo madeiras mais densas colocam mais matéria-seca para maior produção de celulose na unidade de tempo. Isso é válido para outras inúmeras situações, já que a densidade se relaciona ao número de fibras/grama de celulose seca. Por outro lado, as madeiras muito densas são mais difíceis de cozinhar e geram mais rejeitos, além de menores rendimentos em celulose base peso de madeira [...]. (FOELKEL, 1997).

2.1.2 Aditivo de processo antraquinona

Um dos principais investimentos da indústria, não só do ponto de vista econômico, mas também, pelo ambientalmente correto, no processo de polpação Kraft, é o uso de aditivos que ofereçam um maior ganho em produtividade, e, ao mesmo tempo, que possa oferecer uma redução dos gases de enxofre, que são, em suma, um dos principais causadores de poluição das empresas. Uma alternativa eficiente e rentável muito aceita atualmente, é o uso da Antraquinona, que em vários estudos provou ser um excelente redutor desses gases, uma vez que utilizado podemos reduzir os níveis de sulfidez, que são os responsáveis pelos gases, além de que, quando utilizado em estudos posteriores, observou-se que houve um aumento de rendimento, pois protege os carboidratos, produz menos sólidos no licor negro, e redução de número Kappa, pela aceleração da deslignificação. (JÚNIOR, 2017).

Polpação Kraft

[...] Os reagentes químicos NaOH e Na₂S são empregados no licor de polpação para separar as fibras a altas temperaturas, conduzindo a diferentes graus de degradação da lignina e dos carboidratos. As hemiceluloses são mais suscetíveis a hidrólises alcalinas que a celulose devido a seus baixos graus de polimerização, seus estados amorfos e suas fáceis acessibilidades ao licor de polpação. O álcali ativo é a variável da polpação Kraft de *Eucalyptus* que mais afeta a retenção de xilanas, ácidos urônicos, lignina e a degradação macromolecular da celulose. O uso de baixos níveis de álcali ativo na polpação melhora todas as propriedades mecânicas da polpa, mas reduz a alvura e aumenta o número Kappa [...]. (MORAIS, 2008).

Número kappa e relação licor/madeira

[...] O controle do número Kappa é o item mais importante para o cozimento, e é determinante para as etapas subsequentes do processo (depuração e branqueamento), tendo impactos significativos para os custos, o meio ambiente e a qualidade da celulose final. Neste contexto, a modelagem matemática tem sido aplicada ao processo Kraft, em diferentes níveis de complexidade para minimizar a variabilidade. A cinética de reações químicas, a influência do cavaco e do tipo de madeira, impactos da temperatura, álcali, relação licor/madeira possuem vastas informações na literatura em relação aos processos de cozimento [...]. A relação líquido/madeira é definida como a relação do volume total de líquido, sobre o peso seco de madeira alimentado. Dentro do balanço do digestor, as fontes de líquido que devem ser consideradas são a umidade que acompanha o cavaco, o volume de licor branco, o volume de licor negro diluído eventualmente adicionado e o vapor adicionado diretamente (ao topo ou nos equipamentos auxiliares em contato direto) [...]. (CORREIA, 2010).

Rendimento Kraft

O rendimento do processo Kraft pode ser considerado baixo, gira em torno de 50% dependendo da matéria-prima, condições de cozimento e características finais que se desejam obter. Este baixo rendimento está associado principalmente às reações de hidrólise e despolimerização que ocorrem durante a polpação Kraft. Muitas

modificações foram feitas no processo visando intensificar o nível de deslignificação e aumentar o rendimento do processo. (VASCONCELOS, 2005).

Fator H

O tempo e a temperatura são variáveis interdependentes, ou seja, quanto maior a temperatura, menor o tempo de cozimento. O cozimento procede normalmente na faixa de temperatura entre 165 a 170°C, desta forma o tempo de cozimento não é tão prolongado e a degradação da celulose, é mínima.

[...] É uma variável que relaciona a temperatura e o tempo de cozimento, utilizado frequentemente como variável de controle. Cozimentos com diferentes combinações de tempo e temperatura para um mesmo Fator H e com as demais condições constantes, devem produzir pastas com teor de lignina e rendimento semelhantes [...]. (CARDOSO, 2006).

2.2 METODOLOGIA

2.2.1 Amostra

A amostra utilizada neste trabalho constituiu-se de cavacos do tipo costaneira, da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis*, com sete anos de idade, provenientes do pátio de estocagem de uma empresa da cidade de Jaguariaíva-Pr. Os cavacos foram classificados manualmente.

2.2.2 Métodos

As análises foram realizadas com base em outros trabalhos já realizados e normas específicas para cada ensaio, assim garantindo total fidelidade de seus resultados. Foram realizados dois cozimentos as mesmas concentrações de NaOH/Na₂S, sendo um cozimento com NaOH/Na₂S e um cozimento com NaOH/Na₂S/Antraquinona, sendo feito cozimentos em triplicata para as duas condições.

Caracterização da madeira

Para a caracterização da madeira foi considerado como principal parâmetro de qualidade a densidade básica, sendo obtida através do método de máximo teor de umidade, Foelkel et al, (1971). Do lote de cavacos secos ao ar foram retiradas cinco amostras. Cada amostra pesando cerca de 25g. Devidamente identificada, foi imersa em água. Para acelerar a penetração da água utilizou-se vácuo intermitentemente durante dois dias. Em seguida as amostras foram mantidas em água até saturação completa, o que foi constatado por pesagens sucessivas.

Análise do licor branco

É uma solução usada no cozimento Kraft que contém o álcali ativo (AA), álcali total titulável (ATT) e álcali efetivo (AE). Esta solução ainda apresenta uma determinada sulfidez. Todos os compostos são determinados através de análise volumétrica.

Processo de polpação convencional

Foram realizados somente cozimentos convencionais com licor branco e com adição de Antraquinona em diferentes concentrações, utilizando um digestor laboratorial modelo Regmed com capacidade de 20 litros dotado de uma câmara para o cozimento. Sendo que os cozimentos 1, 2 e 3 são apenas com licor, os cozimentos 4, 5 e 6 foram com adição de antraquinona.

Cozimentos

Os cozimentos foram realizados em uma autoclave eletrônica desenvolvida para trabalhos de cozimento de cavacos em laboratório de pesquisa e controle das indústrias de celulose e papel, dotada de uma câmara digestora com capacidade média de 20 litros, projetada para trabalhar com pressões de até 12kgf / cm².

Os cozimentos foram conduzidos sob as seguintes condições:

- Sulfidez: 12,9%, o mesmo lote de licor branco foi utilizado para os 2 cozimentos e suas triplicatas.
- Relação licor/madeira: 4:1.
- Temperatura máxima de cozimento: entre 170°C em média.
- Pressão máxima de operação: 8kgf/cm².

- Tempo de cozimento = 125min (170°C);
- Tempo de impregnação = 20min (T=20°C); $T_{\text{cozimento}} - T_{\text{impregnação}} = 170 - 20 = 150^{\circ}\text{C}$;
- Nº de medidas de temperatura = 25 medidas; $150^{\circ}\text{C} / 25 \text{ medidas} = 6,00^{\circ}\text{C}$;
- Tempo de cozimento / 25 medidas = $125 \text{ min} / 25 = 5 \text{ min} (0,08 \text{ h})$;
- Relação tempo/temperatura (Fator H): Medido durante a polpação.

Terminando o cozimento, o material deslignificado foi lavado em água à temperatura ambiente em abundância sob tela inox, comprimindo manualmente para remoção do excesso de água para os cálculos dos rendimentos.

Controle do Fator H

Para a obtenção do fator H desejado, é necessário que haja o controle do tempo e da temperatura durante o cozimento. A temperatura de cozimento foi medida em um intervalo de 5 minutos, obtendo-se a velocidade da reação. Posteriormente, calcula-se o fator H para dada velocidade. O acumulado totaliza o fator H aplicado ao cozimento. Quanto menor for o intervalo entre as medições da temperatura, mais preciso é o resultado.

A velocidade de reação é dada pela equação 1 desenvolvida por Arrhenius:

$$Kr = \exp \left(43,2 - \frac{16113}{(273,15+T)} \right) \quad (1)$$

O controle do fator H para cada cozimento foi feito através de planilhas do excel.

Análise do número Kappa

A análise do número Kappa foi realizada por medições titulométricas conforme Norma ABNT NBR ISO 302:2005 (Pastas celulósicas - Determinação do número kappa).

Depuração

Visando a remoção e posterior quantificação do teor de rejeitos, as polpas resultantes foram depuradas em uma peneira laboratorial, dotado de placa com fendas de 0,5mm e 0,2mm de largura. Todo o material retido pelas fendas de 0,5 mm

foi considerado como aceite e o que passou pela mesma e ficou retido pela peneira de 0,2mm foi considerado como rejeito.

Análise das celuloses marrons

Após os cozimentos, a polpa com o maior rendimento depurado, entre os 3 cozimentos convencionais, e o cozimento com maior rendimento depurado entre a polpação Kraft/antraquinona, obtiveram suas propriedades avaliadas através do número Kappa.

Determinação do rendimento bruto

Obtido através da relação percentual entre o peso absolutamente seco da celulose total obtida no cozimento e o peso absolutamente seco da madeira utilizada, conforme a equação 2:

$$RB \% = \frac{PB}{PM} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

RB % = Rendimento bruto antes da depuração (%)

P_B = Peso a.s. da polpa antes da depuração, g

P_M = Peso a.s. da madeira, g

Determinação do teor de rejeitos

Obtido através da relação percentual do peso seco de rejeitos removidos da celulose bruta, obtidos pela passagem da celulose por um depurador com malha de 0,5 milímetros, pelo peso absolutamente seco da madeira utilizada, de acordo com a equação 3:

$$TR \% = \frac{PR}{PM} \cdot 100 \quad (3)$$

T.R = Teor de rejeitos removidos da celulose bruta, %;

P_R = Peso a.s. de rejeitos removidos da celulose, g;

P_M = Peso a.s. da madeira, g;

Determinação do rendimento depurado.

Obtido através da relação percentual do peso absolutamente seco da celulose depurada e o peso absolutamente seco da madeira utilizada, conforme a equação 4:

$$RD \% = \frac{PDE}{PM} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

RD % = Rendimento depurado da polpa (%)

P_{De} = Peso a.s. da celulose depurada, g

P_M = Peso a.s. da madeira, g

2.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

DENSIDADE BÁSICA, TEOR DE UMIDADE E CÁLCULO DAS RELAÇÕES

O resultado da densidade básica foi de 0,525 g/cm³, o pm ou peso úmido foi de 65,6g e o pas ou peso seco foi de 21,7g. Em estudos realizados por Ferreira (1972), verificou valores de densidade básica entre 0,400 e 0,600g/cm³ para *Eucalyptus grandis* e considerou esta faixa bastante adequada nos povoamentos comerciais, e ainda, hoje em dia na indústria é muito bem aceita essa recomendação.

Para realização do teor de umidade, foi utilizada a norma TAPPI 240 Om-88, tendo como resultado 8,37%. O peso seco foi de 115g, o peso úmido foi de 125,5g.

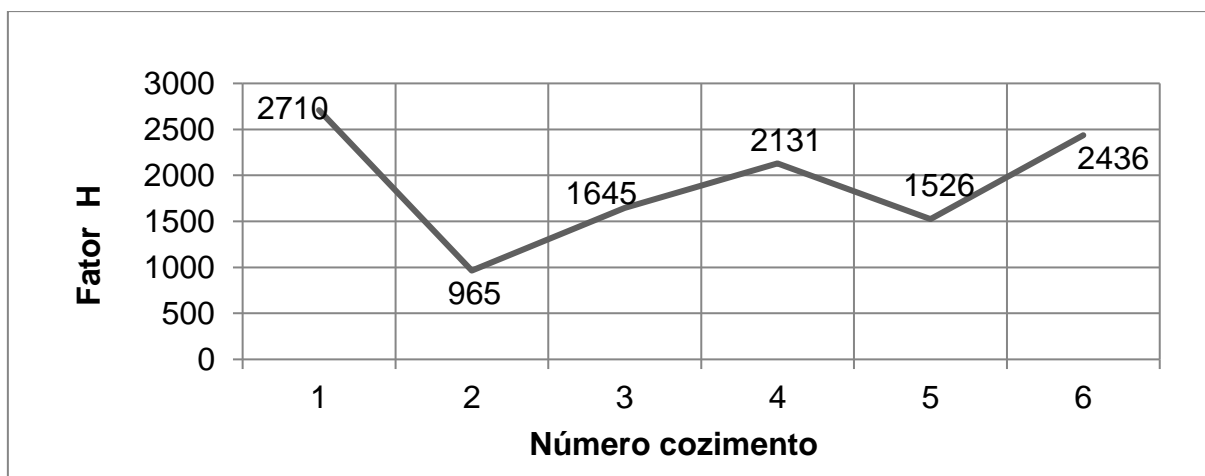
Análise de licor branco

A análise do licor branco apresentou os resultados de 124g/l para álcali ativo (AA) e 12,9% de sulfidez.

Fator H e análise estatística

Os fatores mensurados nas análises estão relacionados na Figura 1:

FIGURA 1 – FATOR H EM DIFERENTES COZIMENTOS.



Fonte: O autor (2018)

Nota-se que os cozimento 1,2 e 3, apenas com licor branco, obtiveram uma média de 1773 para fator H, já comparando os cozimentos 4, 5 e 6, que foram realizados com licor branco + antraquinona, a princípio obteve uma caída no cozimento 5, porém no último alcançou um fator relativamente alto, com média de 2031.

Os elevados índices de Fator H nos cozimentos 4 e 6, são pelo fato da antraquinona promover uma aceleração da reação do licor com o cozimento dos cavacos, podendo justificar o último cozimento pelo elevado índice de fator H.

Em trabalhos conduzidos por Schmidt (2014), adotou-se uma temperatura máxima de 170° c, variando-se apenas o tempo de aquecimento para os diferentes fatores H, assim, quanto menor o fator H, menor o tempo de cozimento aplicado, o que se enquadraria melhor na configuração de um processo mais rápido.

No cozimento 1 o Fator H se mostrou elevado, pois obteve-se altas temperaturas durante a polpação, já no segundo cozimento o Fator H foi baixo, evidenciando que no 2º cozimento trabalhou-se com temperaturas menores.

[...] Quanto maior o fator H, menor é o rendimento bruto, fato que também se deve a maior degradação dos carboidratos da madeira [...], O número kappa das polpas obtidas pela polpação com fator H de 800 foram maiores se comparados aos das polpas de fator H 1500 e 2800 pela deslignificação mais intensa que ocorre em condições de fator H mais elevado [...]. (GOMES, 2010).

Verifica-se na Tabela 2, através de análise de regressão, a qualidade da equação de Arrhenius, para o cálculo do Fator H.

TABELA 2 - ESTATÍSTICA DE REGRESSÃO PARA A EQUAÇÃO DE ARRENIUS.

RESUMO DOS RESULTADOS					
Estatística de regressão					
R – Múltiplo	0,91				
R - Quadrado	0,82				
R – Quadrado Ajustado	82%				
Erro Padrão	10,98				
Observações	26				
ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	13631	13631	113,1244	1,4547E ⁻¹⁰
Resíduo	24	2892	120		
Total	25	16523			
	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	Valor - P	95% inf
Interseção	6,5427	5,3542	1,2220	0,2336	-4,5078
Variável x1	0,0724	0,0068	10,6360	11,4547E ⁻¹⁰	0,0583

FONTE: O autor (2018)

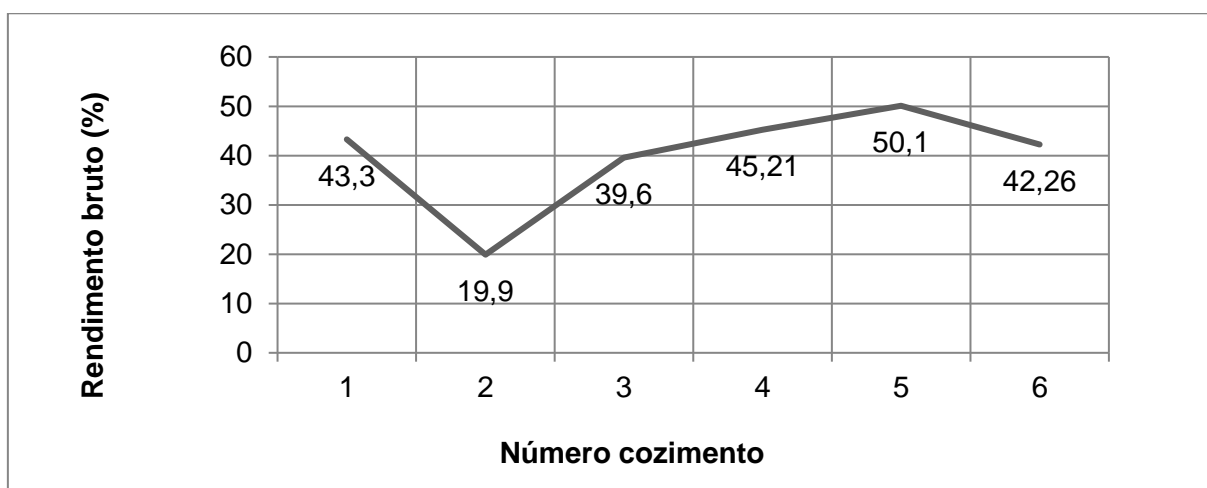
Através dos indicadores: Coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa, f de significação e valor de f calculado, verifica-se que a equação de Arrhenius para a obtenção da velocidade média de reação e posterior Fator H, ajusta-se nos padrões, obtendo uma média a alta qualidade. O coeficiente de determinação apresenta uma variação de zero a um. Sendo que quando $R^2=1$, então todas as variações da variável dependente podem ser explicadas pela(s) independentes(s), ou seja, as variações de Fator H podem ser explicadas pelas variações da velocidade de reação. O erro padrão da estimativa foi de 10,98%, portanto, isso significa que os valores estimados e os observados estão bem dispersos, porém, os valores de F mostraram-se distantes, evidenciando uma relação significativa entre Fator H e velocidade de reação.

Rendimento bruto

O rendimento bruto expressa o rendimento da polpa celulósica obtida após a polpação Kraft, comparando com a madeira alimentada inicialmente, sem levar em consideração o teor de rejeitos ainda presentes na polpa, pois os rejeitos se configuram como material não cozido. Com isso podemos dizer que com o aumento da degradação da lignina e dos extrativos da madeira, pode-se utilizar uma menor massa inicial de madeira no processo.

Com a determinação do rendimento bruto dos cozimentos, obtivemos os seguintes valores mostrados na Figura 2:

FIGURA 2 - RENDIMENTO BRUTO DOS COZIMENTOS



FONTE: O Autor (2018)

Comparando os seis cozimentos realizados observa-se que o cozimento 5 obteve o maior rendimento bruto o cozimento 2 o menor, e separando os cozimentos entre apenas licor e licor + antraquinona obtivemos o cozimento 1 com licor branco, contendo rendimento bruto de 43,3%, sendo a maior porcentagem dos demais comparados com os cozimentos de licor, contra 50,10% de rendimento bruto com licor + antraquinona.

O cozimento 2 obteve um rendimento bruto muito inferior aos demais que pode ter sido causado pelas baixas temperaturas obtidas nesta polpação, não havendo uma deslignificação efetiva nesta condição.

Assim podemos afirmar que a antraquinona interferiu na polpação de uma forma considerável, obtendo 6,8% de diferença entre o cozimento de apenas licor e licor com antraquinona entre os cozimentos 1 e 5.

Para análises comparativas, (JERÔNIMO; FOELKEL e FRIZZO, 2000), realizaram estudo dos rendimentos em celulose no processo Kraft com antraquinona utilizando *Eucalyptus grandis* entre outros, obteve um rendimento bruto em média de 50,9%. Este valor chega bem próximo ao cozimento 5, onde foi utilizado a antraquinona como catalizador.

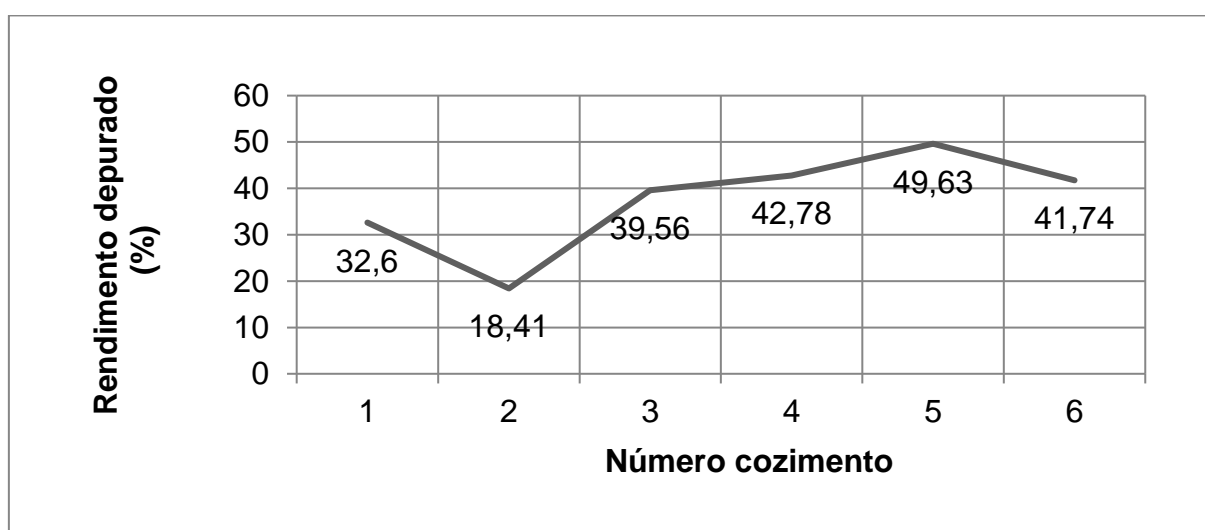
O cozimento 5 foi o de maior rendimento, pois comparado com o processo Kraft puro que conseqüentemente obtêm alta produção devido ao Na_2S agir junto com o NaOH no processo, o uso da antraquinona possibilita otimizar a produção de polpa.

Rendimento depurado

O rendimento depurado representa a quantidade de polpa obtida após o processo de depuração, ou seja, uma polpa livre dos rejeitos, é um dos principais parâmetros encontrados de polpação, sendo que a madeira é um dos maiores itens de custo do processo, torna-se de comum interesse das indústrias esses resultados.

Analisando os rendimentos depurados dos cozimentos com apenas licor e licor com antraquinona, obteve-se os seguintes resultados na Figura 3:

FIGURA 3 - RENDIMENTO DEPURADO DOS COZIMENTOS



FONTE: O Autor (2018)

Comparando entre os 6 cozimentos o que obteve um maior rendimento depurado foi o cozimento 5 com 49,63%, e o menor rendimento foi o cozimento 2 que obteve apenas 18,41%. Analisando entre licor e licor + antraquinona, o cozimento com antraquinona que obteve um maior rendimento depurado foi o cozimento 5, e com apenas licor o cozimento 3 obteve um maior rendimento depurado.

Para questões de análise, em estudos de rendimento com *Eucalyptus grandis*, se encontra uma média de 52% de rendimento depurado, onde de novo a polpação com antraquinona chegou mais perto do resultado dos rendimentos depurados do Kraft convencional, reforçando que os maiores rendimentos são obtidos com a polpação com antraquinona. (JERÔNIMO; FOELKEL e FRIZZO, 2000).

Em estudos preliminares, realizando polpação kraft Lo-solids para madeira de *Eucalyptus* e *Pinus taeda*, verificou-se um rendimento depurado em torno de 50 a 54% para madeira de folhosas e um rendimento de 43% para as coníferas, para um teor de álcali de 24% e fator h de 1500. (Bassa, 2007).

Conforme descrito no item material e métodos, os números Kappa das polpas com maior rendimento depurado, tanto na polpação convencional, quanto da polpação com o aditivo antraquinona, foram respectivamente: 22 e 18.

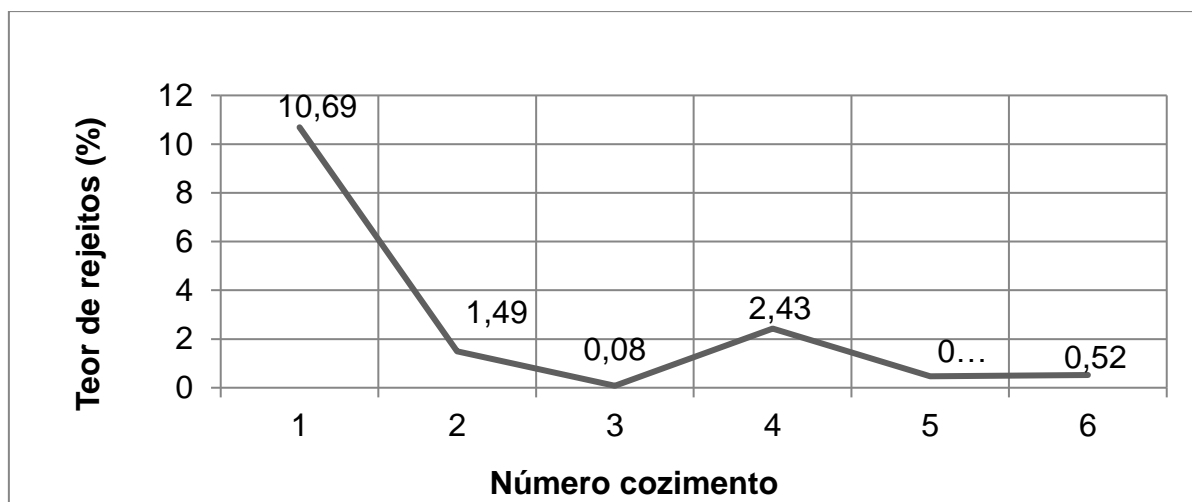
(JERÔNIMO; FOELKEL e FRIZZO, 2000), constatou que o número Kappa ideal para madeira de folhosas está situado na faixa entre 17 a 25, isso facilita as operações posteriores de branqueamento e lavagem da polpa, além de manter a qualidade e resistência mecânica das fibras.

Teor de Rejeitos

O teor de rejeitos do processo de cozimento está relacionado às características da matéria-prima e os parâmetros do processo de polpação, principalmente tempo, temperatura de impregnação, fator H e carga alcalina. (ALMEIDA, 2003).

Na Figura 4 estão os teores de rejeitos obtidos em cada polpação. Comparando os resultados, entre todos os cozimentos obteve-se o primeiro com um teor de rejeitos elevado, de 10,69%, e relacionando com a polpação somente licor e licor com antraquinona, o cozimento 1 só com licor obteve um maior teor, seguido do cozimento 4 com 2,43%, realizado com licor e antraquinona.

FIGURA 4 - TEOR DE REJEITOS DOS COZIMENTOS



FONTE: O Autor (2018)

O rendimento bruto e o teor de rejeitos possuem uma certa relação, quanto menor o rendimento bruto maior será o teor de rejeitos, o que pode ser explicado pelo fato de que em um rendimento baixo, a deslignificação será mais intensa nestes cenários, com essas considerações podemos dizer que quanto maior o nível de deslignificação, maior será a degradação das fibras, diminuindo o comprimento médio ponderado e a largura da mesma.

Para números de comparação, em suas análises com *Eucalyptus grandis* na polpação Kraft obteve 0,1% de teor de rejeitos, (JERÔNIMO; FOELKEL e FRIZZO, 2000). Pode-se comparar com o cozimento 3, onde o percentual está muito próximo do descrito em literatura.

Conclui-se que a polpação Kraft convencional dá um teor de rejeitos elevado com e sem antraquinona.

Tabela de fator H

A seguir é apresentada a Tabela 3 com os valores para o fator H de todos os cozimentos.

Em todos os cozimentos observou-se que os valores de Fator H foram bem distintos, em cada um deles manteve-se a mesma sulfidez, concentração do licor e tempo de polpação (125 min), porém a diferença reside na pressão e temperatura,

observou-se que o digestor tem um tempo muito curto até atingir 90°C, fato este que ocasionou um aumento de pressão repentino, como consequência, a resistência teve que ser desligada a cada 20 minutos, assim reduzindo a temperatura, diminui-se a pressão, no geral a faixa de pressão ficou entre 6 e 8 KgF/cm².

TABELA 3 – CONTROLE DO FATOR H PARA OS 6 COZIMENTOS.

Tempo (min)	Cozimentos					
	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0
5	0,4285	0,2586	0,3875	0,350287	0,5239	0,14129
10	9,372	2,5004	3,6635	6,596942	11,198	0,63979
15	125,28	16,140	18,428	91,47713	43,081	4,85588
20	299,95	35,197	34,717	298,4825	73,853	22,3213
25	353,95	37,812	37,554	396,8992	76,642	43,2031
30	255,54	27,187	43,203	299,9535	58,375	63,4261
35	142,53	23,416	74,006	165,0987	48,418	100,287
40	89,705	47,914	90,238	81,17406	74,006	169,757
45	48,895	76,642	71,273	51,97138	106,09	180,459
50	54,7	76,642	49,392	33,46239	98,769	130,101
55	100,29	60,410	39,154	33,46239	64,649	102,29
60	119,4	39,112	76,888	37,55374	39,692	74,7931
65	98,769	30,386	124,55	47,79121	46,315	53,0057
70	57,959	54,700	124,55	62,20885	74,793	68,1697
75	37,812	83,178	95,511	57,62077	86,437	112,216
80	74,195	77,373	59,511	44,80364	68,888	116,018
85	114,97	53,706	37,812	36,07758	50,621	78,5944
90	100,29	34,042	73,811	46,31505	61,391	57,2446
95	83,178	21,686	124,55	62,20885	73,383	100,22
100	107,07	21,686	120,12	59,82425	62,614	180,459
105	110,87	34,042	94,341	48,74178	48,742	192,887
110	86,979	40,889	79,658	46,5383	51,126	184,847
115	73,383	32,307	68,014	44,80364	68,014	161,717
120	73,383	21,686	55,041	34,71663	70,594	119,398
125	91,083	15,806	48,418	42,5695	67,578	119,398

FONTE: O autor (2018)

O digestor de um modo geral operou de uma forma uniforme, na primeira hora de polpação observou-se que a temperatura estava em uma faixa de 160 a 171° C, com uma pressão de 4,5 KgF/cm², estando dentro do padrão esperado, a pressão de operação segue numa proporção diretamente proporcional a temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura, maior a pressão, e vice-versa, a velocidade de reação

variou de acordo com a temperatura, indicando um Fator H acumulado de 695, na primeira hora de polpação.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todas as seis polpações efetuadas tiveram fator H diferentes, conforme objetivado. Os cozimentos efetuados apenas com licor possuíram um fator H com aumento gradativo, tendo como consequência um teor de rejeitos maior no primeiro cozimento, com o fator H real mais alto. Devido ao aumento do fator H entre cozimentos, além da mudança da relação licor/madeira e no aumento da sulfidez, o teor de rejeitos sofreu mudanças, gradativamente diminuindo e tornando-se quase nulo no cozimento 03 (0,08%), além de uma alteração no rendimento bruto, diminuindo devido às alterações efetuadas no cozimento. Quanto ao rendimento depurado, devido às alterações feitas, houve um decréscimo no mesmo, mas com o aumento do fator h o rendimento bruto e depurado foi aumentando proporcionalmente.

Nas polpações com licor + antraquinona, a relação licor/madeira e a sulfidez se manteve sem alterações, somente mantendo o Fator H com o mesmo aumento gradativo. Proporcionalmente, isso gerou um aumento no rendimento bruto, aumento esse considerável no cozimento 5 (50,10%), sendo assim, o maior rendimento de todas as seis polpações realizadas, tanto bruto (50,10%) como depurado (49,63%). O fator dominante para o alto rendimento foi a presença da antraquinona no cozimento, mas é importante ressaltar que um Fator H adequado teve influência também nesse resultado. Conseqüentemente, junto com o alto rendimento, o teor de rejeitos também foi mais elevado se comparado à literatura.

Além disso, após mensurar o último rendimento, concluíram-se que embora fosse obtido um rendimento considerável com a presença da antraquinona, comparado aos demais rendimentos sem a presença do mesmo, esperava-se um rendimento maior devido à presença da antraquinona. O rendimento bruto e depurado sofreu um decréscimo nos valores. Isso se deu devido ao elevado Fator H real obtido no último cozimento, muito além do alvo que era esperado, de Fator H 1500. Com a presença da antraquinona, como função de catalisador, a deslignificação foi acelerada, confirmando a efetividade do aditivo.

Hoje o aditivo pode ser encontrado na indústria química a um preço de 18\$ o quilo, o que o torna um aditivo muito procurado, pois sua relação custo/benefício é alta, uma vez que utilizado o retorno econômico tem sido satisfatório, além disso, reduz o impacto ambiental nas unidades de produção, pela redução dos níveis de enxofre no licor, uma vez que a (AQ) age como catalisador nas reações, sendo um substituto em potencial para o Na_2S . Embora a efetividade da antraquinona fosse bem evidente, conclui-se que um fator H elevado, mesmo diminuindo o teor de rejeitos, pode comprometer o rendimento de uma polpação.

O cozimento 5 foi o cozimento que obteve maior rendimento depurado, apresentando uma porcentagem de 49,63% de rendimento, sendo assim, obteve pequena quantidade de rejeitos, o que era esperado. Assim, ao fazer um comparativo geral, conclui-se que a presença da antraquinona pode exercer um acréscimo considerável no rendimento. Mas para tal rendimento, é importante equilibrá-lo ao Fator H, pois a elevação do mesmo comprometeu a polpação.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Fábio Sérgio de. **Influência da carga alcalina no processo de polpação Lo-Solids para madeiras de eucalipto**. 2003. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

BASSA, A. G. M. C.; SILVA JUNIOR, FG da; SACON, Vera M. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Pinus taeda* para produção de celulose kraft através do Processo Lo-Solids. **Scientia Forestalis**, v. 75, p. 19-29, 2007.

BRITO, José Otávio; BARRICHELO, Luiz E. George. **CORRELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA MADEIRA E A PRODUÇÃO DE CARVAO VEGETAL: I. DENSIDADE E TEOR DE LIGNINA DA MADEIRA DE EUCALIPTO**. 14. ed. São Paulo: Ipef, 1977. 65 p.

CARDOSO, G. V. **Otimização do cozimento kraft para produção de celulose a partir de madeiras de *Eucalyptus globulus* com diferentes teores de lignina**.

2002. 147p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade de Santa Maria, Santa Maria.

CARDOSO, Gilson da Silva. **Fabricação de Celulose**. Curitiba: Senai, 2006. 349 p.

CORREIA, Flávio Marcelo et al. **Análise de distúrbios de compactação de cavacos de eucalipto em digestores contínuos fase vapor**. 2010.

FERREIRA, Mário. **Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos**. *Revista do IPEF*, n. 4, p. 65-79, 1972.

FOELKEL, Celso Edmundo Bochetti; BRASIL, Maria Aparecida Mourão; BARRICHELO, Luiz Ernesto George. **MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DE CAVACOS PARA CONÍFERAS E FOLHOSAS**. 2. ed. São Paulo: Ipef, 1971. 13 p.

FOELKEL, Celso Edmundo Bochetti; Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. In: **Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos**. 1997. p. 15-22.

GOMIDE, Jose Lívio. Avaliação estatística da otimização de parâmetros da polpação kraft de eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 16., 1983, São Paulo. **Congresso**. São Paulo: Abtcp, 1983. v. 1, p. 317 – 327.

GOMIDE, Jose Lívio. Eficiência da Antraquinona na polpação Alcalina de Eucalipto. **Revista Arvore**: Sociedade de investigações Florestais, Viçosa, v. 3, n. 2, p.208-212, 1979. Semestral.

JERÔNIMO, Lúcia Helena; FOELKEL, Celso Edmundo Bochetti; FRIZZO, Sônia M. B. Adição de antraquinona na polpação alcalina de *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2, p. 31-37, 2000.

MORAIS, Paulo Henrique Damasceno et al. **Efeito da idade da madeira de eucalipto na sua química e polpabilidade, e branqueabilidade e propriedades físicas da polpa.** 2008.

SCHMIDT, Flavia. **Polpação kraft de cavacos de espessura reduzida.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SILVA JÚNIOR, Francides Gomes da; VIVIAN, Magno Alan. Efeito da antraquinona na curva de cozimento kraft para madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Piracicaba, v. 37, n. 92, p.458-464, 29 dez. 2017. Trimestral.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. In: TAPPI Standard Methods. Atlanta, USA. Tappi Press. Cd-Rom, 2001.

VASCONCELOS, Francisco Soares Ribeiro de. **Avaliação do processo SuperBatch™ de polpação de *Pinus taeda*.** 2005. 106f. 2005. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo-Escola Superior de Agricultura" Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2005.