



## RENDIMENTO DE POLPA KRAFT APÓS REMOÇÃO PARCIAL DAS HEMICELULOSES POR AUTO-HIDRÓLISE A 160°C EM CAVACOS DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*

MARTINS, Felipe<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva – FAIT

GARCIA, Felipe Manente<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP

### RESUMO

A indústria papelreira vem focando em estudos atuais, alternativas para separar a madeira em seus componentes, celulose, hemicelulose, lignina e extrativos, pois eles que restringem as diversas oportunidades da biorrefinaria integrando processos produtivos de combustíveis e produtos químicos a partir da biomassa. A solubilização das hemiceluloses por auto hidrólise tem sido proposta como o primeiro passo da biorrefinaria, e os materiais extraídos com a auto hidrólise podem ser usados na produção de produtos químicos e biocombustíveis. Assim, este trabalho avaliou o efeito da temperatura 160°C na auto hidrólise, e posteriormente no rendimento da polpação Kraft em diferentes cargas de álcali ativo (12%, 13% e 14%) em cavacos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*. Os resultados da pesquisa mostraram que a alta temperatura no processo de auto hidrólise provocou alteração para ambas espécies; reações com alto valor de temperatura afeta negativamente o rendimento do processo de auto hidrólise; a utilização do *Eucalyptus grandis* mostrou mais eficaz no processo de auto hidrólise quando comparado ao híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*. Conclui-se que, a auto hidrólise apresentou eficácia removendo a maior parte das hemiceluloses e apenas atacando ligeiramente a lignina e a celulose.

**Palavras chave:** Auto hidrólise; Rendimento de madeira; Polpação Kraft; *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*; *Eucalyptus grandis*

**Linha de Pesquisa:**

### ABSTRACT

The paper industry has been focusing on current studies alternatives for separating wood into its components, cellulose, hemicellulose, lignin and extractives, as they that hide the various biorefinery opportunities integrating production processes of fuels and chemicals from biomass. The solubilization of hemicelluloses by auto-hydrolysis has been proposed as the first step in biorefinery. And the materials extracted with the Auto-hydrolysis can be used in the production of chemicals and biofuels. Thus, this study evaluated the effect of temperature 160 °C in the auto-hydrolysis and Kraft pulping



yield in different loads of active alkali (12%, 13%, 14%) in *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis* chips. The survey results showed that the high temperature in the process of hydrolysis yield self presents to both species; reactions with high temperature affect negatively the performance of the hydrolysis process; the use of *Eucalyptus grandis* showed more effective in hydrolysis process when compared the hibrid *E. grandis* x *E. urophylla* and concluded that, the hydrolysis showed effectiveness by removing most of the hemicelluloses and attacking only slightly the lignin and cellulose.

**Keywords:** auto-hydrolysis; wood yield; Kraft pulping; *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*; *Eucalyptus grandis*.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se com as duas principais fontes de madeira utilizadas para a produção de celulose e papel que são as florestas plantadas de *eucalipto* e de *pinus*, responsáveis por mais de 98% do volume produzido. Em todo o mundo, o país ocupa importantes posições, é o sexto maior produtor mundial de celulose e o maior produtor mundial de celulose de eucalipto. Já em relação ao papel, o Brasil é o decimo primeiro maior produtor mundial (BRACELPA, 2014).

No entanto, a indústria papeleira vem focando em estudos para isolar a madeira em seus componentes tais como, celulose, hemiceluloses, lignina e extrativos, pois são estes componentes que disfarçam as diversas oportunidades da biorrefinaria, integrando processos produtivos de combustíveis e produtos químicos a partir da biomassa (GARCIA, 2017).

A celulose é um polímero não ramificado de  $\beta$ -D-glicose cujas unidades estão unidas por ligações  $\beta$ -1,4 com uma estrutura semicristalina altamente ordenada e de alta massa molar. Já as hemiceluloses são macromoléculas ramificadas compostas de polissacarídeos de baixa massa molar denominadas heteroglicanas constituídas por unidades de monossacarídeos (D-xilose, D-manose, D-galactose, D-glicose e L-arabinose). Todavia, a lignina é composta de uma macromolécula amorfa e tridimensional de alta massa molar associada com a celulose e as hemiceluloses. Enfim, todas as espécies de madeira possuem quantidades variáveis de outras substâncias, os compostos orgânicos e inorgânicos, referidas como o teor de

extrativos e cinzas da madeira, respectivamente (D'ALMEIDA, 1988; SJÖSTRÖM, 1992; KESHWANI, 2010).

Porém, uma tecnologia ideal para a valorização dos constituintes químicos da madeira, antes da polpação kraft não produziria nenhuma alteração no rendimento da polpa ou nas propriedades da polpa kraft de qualidade. A única alteração seria que alguns dos produtos químicos da madeira que não ficam retidas na polpa seriam direcionados para um uso final mais elevado economicamente (SMITH; CULLINAN; KRISHNAGOPALAN, 2008).

Neste âmbito, há inúmeras opções de processos, todos eles com um pré-tratamento hidrotérmico, também chamado de processamento de água quente ou de pré-hidrólise, que pode ser utilizado no fracionamento da madeira operando tanto com água ou com soluções ácidas (GARCIA, 2017).

Segundo Garrote et al. (2002); e Rafqul; Sakinah (2011), a pré-hidrólise ou auto hidrólise é uma alternativa para a solubilização das hemiceluloses, com várias vantagens sobre a hidrólise ácida, como pequenas quantidades de produtos de degradação do açúcar e o de não se utilizar nenhum produto químico, somente água. Geralmente, a auto hidrólise é utilizada como um pré-tratamento para produzir principalmente oligossacarídeos, sem modificar substancialmente a estrutura da celulose e lignina.

Dentro deste contexto, surge à proposta de estudar o rendimento da polpação kraft após remoção parcial das hemiceluloses por auto hidrólise a 160°C em cavacos de híbrido do cruzamento de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, avaliando a influência da temperatura, efeitos das diferentes cargas de álcali ativo comparando as duas espécies em diversas condições, verificando assim a possibilidade de usos utilização das hemiceluloses retiradas.

## 2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O material para o estudo foi obtido na fazenda Nova Santana localizada no município de Lençóis Paulista. Utilizou-se 10 árvores de um clone do híbrido de

*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e 10 árvores de um clone de *Eucalyptus grandis*. As árvores amostradas foram previamente mensuradas quanto a altura total e comercial, e possuíam medidas representativas do DAP médio do talão. Então foram amostradas na forma de disco com 3cm de espessura no sentido longitudinal do fuste (base 25%, 50%, 75% e 100%), a partir da metodologia adaptada de Smalian (1937) (totalizando 5 discos por árvore). Além dos discos extraiu-se também toretes de madeira entre os discos, os quais foram descascados e picados para a realização da auto hidrólise e cozimento Kraft. A picagem dos toretes foi realizada em picador e classificados, para obtenção da amostra de cavacos, depois foram acondicionados em sacos plásticos para transporte e armazenados no laboratório de secagem de madeira da Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP.

Nos discos coletados de cada árvore foram efetuadas as medições dos diâmetros com casca e sem casca. As cascas de cada árvore depois de retiradas foram separadas para avaliação da densidade básica. O volume comercial de cada árvore, com e sem casca foi determinado, conforme Smalian (1937).

Os discos de madeira foram cortados em quatro cunhas com ângulo de 90°. Para isso, utilizou-se duas cunhas, uma para a determinação da densidade básica e a outra para a avaliação da composição química da madeira. A determinação da densidade básica da cunha de madeira foi efetuada através do método da balança hidrostática (FOELKEL et al., 1979), NBR 11941 (ABNT, 2003). A densidade aparente dos cavacos foi efetuada usando um recipiente cilíndrico de capacidade 10 litros. As determinações foram efetuadas em triplicata e determinada de acordo com a Equação 6 segundos, metodologia descrita por Foelkel e Barrichelo (1977) e Stamm (1964).

Após as amostras serem moídas, a serragem obtida foi classificada para obtenção da fração 40/60 mesh. Foram efetuadas as seguintes análises em cada árvore: teor de extrativos totais (TAPPI T 12 wd-82), teor de lignina Klason insolúvel em ácido sulfúrico (TAPPI T 249 cm-85) e holocelulose (deslignificação com clorito de sódio).



As auto hidrólises foram efetuadas em amostras compostas de cavacos provenientes da picagem dos toretes das dez árvores. As condições fixas foram tempo até temperatura máxima de 90 minutos, tempo na temperatura máxima de 30 minutos, relação água/madeira (4L/kg de madeira seca) e a temperatura de auto hidrólise (160°C). Nos cavacos auto hidrolisados foram determinadas as análises da composição química (teor de extrativos totais, teor de lignina Klason insolúvel em ácido sulfúrico e holocelulose).

Tabela 1: Resultados das análises de extrativos totais, lignina insolúvel e holocelulose nas espécies *E. grandis* X *E. urophylla* e *E. grandis*.

Análises	Auto hidrólise de <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> e <i>E. grandis</i>		
Extrativos totais %	Testemunha	1,61 a	1,64 a
	160°C	17,57 a	16,05 a
Lignina insolúvel, %	Testemunha	23,82 a	23,73 a
	160°C	15,02 a	16,58 a
Holocelulose, %	Testemunha	77,01 a	77,06 a
	160°C	62,20 a	58,88 b

Fonte: Próprio autor, 2019.

As polpações Kraft dos cavacos (testemunha e auto hidrolisados) foram realizadas em cápsulas com capacidade para 50 g de madeira seca em digestor. A condição variável na polpação Kraft foi a carga de álcali ativo como Na<sub>2</sub>O (12%,13%,14%). A quantidade total de polpações em cápsulas foi 48 em 2 materiais genéticos (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*), auto hidrólise (160°C), 3 cargas de álcali ativo (12%,13%,14%) e 2 repetições. As REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE CIÊNCIAS APLICADAS DA FAIT, Ano VIII. v 15, n1, maio, 2020.

condições fixas foram sulfidez (25%), antraquinona base madeira seca (0,05%), temperatura máxima de 170°C, tempo até temperatura máxima de 90 minutos, tempo na temperatura máxima de 30 minutos e relação licor/madeira (4L/kg de madeira seca). Após a polpação Kraft, as cápsulas com os cavacos foram lavadas para retirada do licor negro. Os cavacos cozidos de cada cápsula foram desintegrados em desfibrador, e depois depurado utilizando peneira com fendas de 0,2 mm de abertura, para completar a lavagem da polpa e para determinar o teor de rejeitos.

Para avaliar os resultados da polpação foram determinados o rendimento bruto, teor de rejeitos base celulose, teor de rejeitos base madeira, rendimento depurado e consumo específico de madeira. O número Kappa foi efetuado em amostras de polpas depuradas conforme norma TAPPI T 236 om-85, que é o que determina o grau de deslignificação do processo Kraft, esta foi efetuada em amostras de polpas depuradas.

Os resultados obtidos neste estudo foram analisados utilizando o programa STATISTIC7 realizando a análise de variância (ANOVA) e o teste de comparação de médias (teste F) no nível de 5% de significância, onde para as medias significativamente iguais, eram utilizadas letras iguais, e, para medias significativas diferentes, foram utilizadas letras diferentes; juntamente também, foram efetuadas análises de regressão e correlação para aferir os resultados no programa SISVAR.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dendrométricos médios para as árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* apresentou uma diferença estatística significativa entre os materiais, sendo que o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* apresentou uma média de altura total maior (27,95 metros) que o clone *E. grandis* (26,36 metros).

Para os resultados médios para densidade básica média das árvores e densidade aparente dos cavacos, observa-se que houve diferença significativa ao REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE CIÊNCIAS APLICADAS DA FAIT, Ano VIII. v 15, n1, maio, 2020.

nível de 5% de probabilidade em ambas as densidades, sendo que o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* foi o que apresentou maior densidade básica média por árvore ( $0,510 \text{ g/cm}^3$ ) e densidade aparente dos cavacos ( $0,184 \text{ g/cm}^3$ )  $\text{g/cm}^3$  em relação ao clone *E. grandis*.

A densidade básica da madeira apresenta variação entre espécies de 0,300 a  $0,600 \text{ t/m}^3$  (GULLICHSEN E FOGELHOLM, 1999). As densidades básicas mais elevadas proporcionam maior rendimento volumétrico do digestor, menor consumo específico de madeira para produção de uma tonelada de celulose e menor área florestal para uma tonelada de celulose. Como desvantagens podem ser relatadas maior dificuldade de picagem e impregnação dos cavacos pelo licor de cozimento. Santos e Sansígolo (2007) estudaram madeiras do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* de alta e baixa densidade e encontraram resultado da densidade básica da madeira mais elevada no valor de  $0,508 \text{ g/cm}^3$  semelhante a encontrada neste trabalho ( $0,510 \text{ g/cm}^3$ ).

A densidade aparente dos cavacos é outro parâmetro muito utilizado na indústria de polpação Kraft. A densidade aparente pode variar de 0,120 a  $0,200 \text{ t/m}^3$  e depende de espécies, tamanho dos cavacos e distribuição do tamanho dos cavacos (GULLICHSEN E FOGELHOLM, 1999). A densidade aparente dos cavacos é muito utilizada na indústria para converter volume de cavacos alimentado ao digestor em massa para os cálculos da carga alcalina a ser utilizada nos cozimentos da madeira. Já os resultados da composição química da madeira não apresentaram diferença significativa entre os materiais das diferentes variedades de eucalipto.

O rendimento da auto hidrólise a  $160^\circ\text{C}$ , para ambas espécies foi baixo, significando alta remoção de hemiceluloses nesta condição. A influência da temperatura de auto hidrólise no rendimento foi diferente para os materiais genéticos. Para o *E. grandis* x *E. urophylla* observa-se um decréscimo mais pronunciado do rendimento em relação ao *E. grandis* na temperatura estudada.

A temperatura e o tempo de auto hidrólise são significantes nos resultados de rendimento. A redução no rendimento pode ser explicada pelo fato de que quanto mais energéticas forem as condições de auto hidrólise maior será a solubilização

ocorrida com a madeira. Devido esse fato, é observado o baixo rendimento do processo kraft com auto hidrólise (30 a 40%) quando comparado ao processo kraft normal (45 a 50%) para produção de celulose para papel (LIMA; ASSUMPÇÃO, 1982).

Em relação ao teor de extrativos totais na temperatura 160 °C de auto hidrólise pode-se observar que houve um grande aumento (17,57%) na espécie *E. grandis* x *E. urophylla* mostrando assim maior degradação dos cavacos de madeira. O mesmo ocorre com a espécie *Eucalyptus grandis*, que quando recebe a alta temperatura, aumenta também a quantidade percentual do teor de extrativos totais.

Quando comparadas as espécies nas mesmas temperaturas de auto hidrólise, percebe-se que a espécie de *Eucalyptus grandis* mostrou-se menos atingida pela temperatura no que tange a variável extrativos totais; ou seja, seria mais interessante utilizar esta espécie na conformidade de diminuir a formação de “pitch”, termo este utilizado que dificulta a produção de papel e celulose em escala industrial.

Com relação ao teor de lignina insolúvel, pode-se observar que após a auto hidrólise em 160°C, o teor de lignina diminuiu em relação a testemunha de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Quanto ao teor de holoceluloses, percebe-se que com a temperatura de 160 °C houve decréscimo no teor de holocelulose após o tratamento de auto hidrólise para os cavacos de ambas espécies. Na pesquisa de Morais (2015), utilizando serragem de madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* e *E. grandis*, à 170 °C, obteve-se como resultados para o teor de holoceluloses 73,07% e 73,34% respectivamente; mostra que conforme com a alta temperatura no processo de auto hidrólise, perde-se holocelulose, concordando com a pesquisa presente.

Foi utilizado temperatura de auto hidrólise de 160°C na polpação kraft nos 3 diferentes teores de álcali ativo propostos na pesquisa (12%, 13% e 14%) e foram avaliados o rendimento bruto, teor de rejeitos base celulose, teor de rejeitos base madeira, Rendimento depurado, consumo específico de madeira e Número Kappa.



Avaliando todas as combinações de álcali ativo para escolha da melhor condição de rendimento bruto de madeira na polpação kraft, sugere-se utilizar a condição de 12% de álcali ativo associado a 160°C de temperatura de polpação com ambas as espécies. O *Eucalyptus grandis* quando comparado com a testemunha apresentou melhores resultados que o *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. Provavelmente isso ocorre pelo fato de a segunda espécie ser mais densa, e quando exposta a condições de álcali ativo mais alto, ocorre maior dificuldade em degradar as hemiceluloses, sendo assim um caso excessivo aos demais casos encontrados.

Um fator importante quando se trata de processos por auto hidrólise, é a condição de temperatura implantada no processo, como mostra o trabalho de Júnior e Colodette (2011) que observaram a temperatura e a carga de álcali ativo ótimos para *Eucalyptus grandis* são de 170°C com teor de álcali variando de 14% a 15% o que mostrou grande diferença as condições descritas no estudo. Dentro da proposta do estudo, a condição mais próxima aos resultados encontrados pelo autor seria de 160°C a 14%; onde apresentou o rendimento de 32,73% de rendimento dos cavacos, enquanto no estudo do autor citado acima foi de 47,5%.

Estas diferenças podem ser explicadas por conta de algumas situações como: material genético e idades diferentes, tempo de cozimento e temperaturas divergentes no processo de cozimento. Chirat, et al. (2012), submetendo cavacos de *Eucalyptus globulus* ao processo de auto Hidrólise antes do cozimento, afirmaram que a remoção das xilanas facilitam o processo de deslignificação da madeira, porém custando no rendimento da mesma.

Foi possível perceber que o rendimento dos cavacos aumentou em todas as combinações realizadas quando comparado ao processo tradicional descrito acima sem o processo de auto hidrólise, discordando com o trabalho de Chirat, et al. (2012). Esta diferença pode ser explicada devido ao tempo na temperatura máxima, onde no presente estudo foi de 30 minutos a 160°C, enquanto no estudo comparativo foi de 60 minutos a 180°C, removendo assim uma maior carga de

hemiceluloses e celuloses consigo (holoceluloses), reduzindo o rendimento dos cavacos.

Outro dado da pesquisa mostra que para as temperaturas de 160°C as combinações realizadas com os teores de álcali não se mostraram efetivas quanto ao rendimento dos cavacos na espécie *E. grandis* x *E. urophylla* onde Sansígolo (2000) afirma que o rendimento aceitável para esta espécie é de 45% a 55%, e este trabalho obteve 43,62 a 12%, 40,57 a 13% e 37,37% a 14% de álcali, valores abaixo dos obtidos pelo autor.

O rendimento depurado obtido a 160°C a 12% de álcali ativo para *Eucalyptus E. grandis* x *E. urophylla* foi de 34% e para *E. grandis* 41%. Este fato pode ser explicado pela afirmação de Almeida (2001), onde estudando o rendimento depurado de espécies de *Eucalyptus*, percebeu que quanto menor tempo em temperatura máxima, menor será a formação de “finos e rejeitos” no processo de polpação.

Quanto ao teor de álcali, foi possível verificar que quanto maior a temperatura e maior o teor de álcali, maior será a degradação das cadeias de hemicelulose, o que leva a uma diminuição do rendimento dos cavacos. Essa diminuição do rendimento devido a alta temperatura foi encontrada por Baeza & Freer (2001), onde explicam que as hemiceluloses são regiões amorfas, ou seja, regiões mais fáceis de reagir com produtos químicos utilizados na polpação.

Após a passagem dos cavacos pelo processo de auto hidrólise, percebe-se que em todas as combinações de álcali ativo, o processo foi de certa forma benéfico quando comparado ao processo tradicional, portanto seria indicado utilizar o processo de pré hidrólise para este parâmetro.

Doherty et al. (2011) afirmam que quanto maior a temperatura implantada ao processo, maior será o seu rendimento, o que na pesquisa proposta não há concordância, pois, temperaturas de 160°C não mostraram rendimentos muito satisfatórios. Este fato pode ser explicado por conta das ramificações na cadeia de celulose e hemiceluloses, pois as mesmas como são intimamente ligadas, na temperatura de 160°C quando a hemiceluloses começa a ser retirada no processo,

carrega consigo celulose também. A celulose se degrada em temperaturas mais elevadas por serem cadeias altamente polimerizadas. Seria mais ligada a quebra da lignina.

Portanto, é de extrema importância realizar maiores estudos de correlações entre a temperatura e cargas de álcali ativo para obter maiores informações sobre rendimento de polpa, sem alterar sua constituição, rendimento e conseguir retirar o máximo de hemiceluloses no processo sem a retirada de celulose.

Observa-se que para as duas espécies, o teor de rejeitos base madeira foi praticamente extinto com a temperatura utilizada. Estas alterações podem ser explicadas por vários motivos, entre eles cavacos de tamanhos divergentes, presença de cascas ou nós, impregnação de vapor, cozimento desuniforme, entre outras situações podem alterar o teor de rejeitos quando relacionado a altas temperaturas (CAMARGO, et. al. 2015).

Outro dado importante que deve-se levar em conta, é que o teor de rejeitos não deve ser levado em consideração como único parâmetro de avaliação, pois ele também necessita estar vinculado a fatores como rendimento depurado e rendimento bruto, pois se avaliar a escolha da condição apenas pelo teor de rejeitos, as opções escolhidas seriam as com menor teor de rejeitos (160°C em 14% de álcali para ambas espécies), porém nestas condições, os rendimentos bruto e depurado são afetados negativamente por estes parâmetros.

Avaliando a melhor condição de rendimentos bruto e depurado relacionado ao teor de rejeitos e a formação de “finos”, verifica-se que ambas as espécies quando expostas a alta temperatura e a carga máxima de álcali (160° C a 14% de álcali) proporcionou ótimos resultados, concordando com Moraes (2015) que afirma que a temperatura e o teor de Álcali podem influenciar o rendimento e o teor de rejeitos.

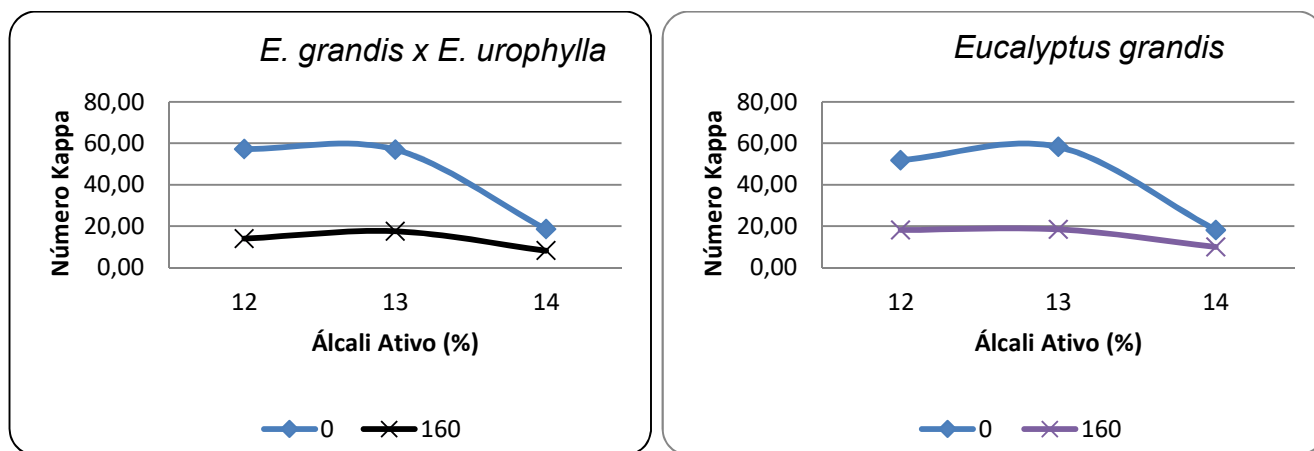
Como pode-se verificar, não houve diferença significativa para o teor de rejeitos quando o material foi tratado pelo processo de auto hidrolise, quando comparado ao processo tradicional. O que se afirma, é que a temperatura diminui consideravelmente o índice de rejeitos atrelado ao teor de álcali adequando para

cada espécie. Porém nestas condições, os rendimentos bruto e depurado são afetados negativamente por estes parâmetros.

Segundo Klock (2000) o número kappa é uma maneira tradicional de se verificar a qualidade da polpa obtida no final do cozimento dos cavacos, e quanto maior o número kappa, maior a quantidade de lignina residual na polpa, e mais difícil será o seu branqueamento. É possível avaliar que a tendência de que quanto maior a carga de álcali ativo impregnado nos cavacos junto ao incremento da temperatura, os valores de referência de kappa vão decrescendo regularmente tanto para *Eucalyptus grandis* quanto para *E. grandis x E. urophylla*.

Na figura 01 estão apresentadas algumas considerações sobre os resultados de número kappa para as espécies de *Eucalyptus grandis* e *E. grandis x E. urophylla* em condições de cavacos Pré Hidrolisados.

Figura 1 – Influência da variação da temperatura para obtenção do número Kappa.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Observa-se também que o incremento de temperatura teve grande influência assim como a combinação de álcali ativo, para a obtenção do número kappa, confirmando a literatura.

No presente trabalho, as melhores combinações foram as de 160°C a 12% e 13% de álcali ativo para *Eucalyptus grandis*, mostrando assim também a influência da espécie; concordando com Foelkel (1979) que afere em seus estudos que

espécies de *Eucalyptus grandis* foram mais viáveis para número kappa quando comparados com *Eucalyptus globulus* ou *E. grandis* x *E. urophylla*.

No trabalho de Carvalho et.al. (2015) para o híbrido *Eucalyptus urophylla* e *E. grandis* e *Eucalyptus grandis*, concluíram que o número kappa ótimo para o cozimento independente da condição de cozimento, é de 18 para obter maiores rendimento de branqueamento e polpação, concordando com os dados da pesquisa proposta na simulação; com isso quanto menor a quantidade de álcali utilizado, e número kappa mais próxima de 18, teremos qualidade de polpa ideal para produção de celulose, e hemiceluloses menos degradadas no licor negro destinadas para utilização de produtos mais nobres como etanol, produção de cosméticos, fármacos, entre outros.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o incremento da temperatura no processo de auto hidrólise o rendimento bruto apresenta alteração para ambas espécies. As reações com altos índices de temperatura (160°C) afetam significativamente o rendimento do processo de auto hidrólise, onde percebe-se que quanto maior a temperatura, menor é o rendimento.

O teor de rejeitos base celulose para a espécie *E. grandis* x *E. urophylla* foi menor do que para o *E. grandis*, assim como o teor de rejeitos base madeira também ocorreu a mesma situação.

O rendimento depurado foi maior para a espécie *E. grandis* do que para o *E. grandis* x *E. urophylla*. Já o consumo específico de madeira quase se igualou nas duas espécies, apresentando pequenas diferenças.

A temperatura de 160°C nas combinações realizadas com os teores de álcali não se mostraram efetivas quanto ao rendimento dos cavacos na espécie *E. grandis* x *E. urophylla* (79,97) e *E. grandis* (82,76).

Para o número Kappa, as melhores combinações foram as de 160°C a 12% e 13% de álcali ativo para *Eucalyptus grandis*, mostrando assim também a influência da espécie no resultado.

A utilização da *Eucalyptus grandis* mostrou mais eficaz no processo de auto hidrólise quando comparado a espécie *E. grandis* x *E. urophylla*.

Conclui-se que, a auto hidrólise apresentou eficácia removendo a maior parte das hemiceluloses e apenas atacando ligeiramente a lignina e a celulose.

Ainda são necessárias mais análises com diferentes temperaturas para avaliar quais as melhores condições para se obter maiores rendimentos na polpação.

## 5. REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11941: Madeira – Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro. p. 6. 2003.

ALMEIDA, J.M.; SILVA, D.J. Efeito da qualidade de extrativos e da acessibilidade do licor na polpação kraft de clones de *Eucalyptus*. In: **CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP**, 34., São Paulo, 2001. **Anais**. São Paulo: ABTCP, 2001. P. 1-14. ABRAF. Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012 / ABRAF. – Brasília: 2013. 148 p.

BAEZA, J.; FREER, J. Chemical characterization of wood and its components. In: HON, D. N. S.; SHIRAIISHI, N. **Wood and cellulosic chemistry**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2001. 148 p.

BRACELPA. Associação Brasileira de Celulose e Papel. **Relatório Estatístico 2014**.

CAMARGO, S. K. C. A.; SILVA, T.J.; COSTA, D.M. **Influência da dimensão e qualidade dos cavacos na polpação**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. Universidade Estadual Paulista/UNESP – Sorocaba, SP, Brasil. Set-Dez 2015.

CARVALHO, D.M.; SILVA, M.R.; COLODETTE, J.L. Estudo da branqueabilidade da polpa kraft de eucalipto. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 25, n.1, p. 185-197, jan.-mar., 2015

CHIRAT, C.; LACHENAL, D.; SANGLARD, M. Extraction of xylans from hardwood chips prior to kraft cooking. **Process Biochemistry**, v. 47, p. 381-385, jan. 2012.

D'ALMEIDA, M. L. O. (Coord.). **Celulose e papel**. 2. ed. São Paulo: Departamento de divulgação do IPT, 1988. v. 1: Tecnologia de fabricação da pasta celulósica.

DOHERTY, W. O. S.; MOUSAVIOUN, P.; FELLOWS, C. M. Review. Value-adding to cellulosic ethanol: Lignin polymers. **Industrial Crops and Products**, v. 33, 259-276, march. 2011.

EL HAGE, R. et al. Effect of autohydrolysis of *Miscanthus x giganteus* on lignin structure and organosolv delignification. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 9321.

FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G. **Método picnométrico para determinação do peso e volume específico de substâncias lenhosas**. Disciplina Qualidade da Madeira, UFV, TEC 330, no P.6, mar. 1977

FOELKEL, C. E. B.; ZVINAKEVICIUS, C.; ANDRADE, J. O. M. Processo de pré-hidrólise kraft para produção de celulose para dissolução a partir de madeira de eucalipto. **O Papel**, São Paulo, v. 40, p. 54-62, ago. 1979.

GARCIA, Felipe Manente. **Rendimento de polpa kraft após remoção parcial das hemiceluloses por auto hidrólise em cavacos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis***. 2017. 68p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2017.



GARROTE, G.; PARAJÓ J. C. Non isothermal autohydrolysis of *Eucalyptus* wood. **Wood Science and Technology**, v. 36, p. 111-123, nov. 2002.

GULLICHSEN, J.; C.J. FOGELHOLM. **Chemical Pulping**. Atlanta: TAPPI Press, Helsinki. 693 p. 1999.

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, jul.-set. 2011.

KESHWANI, D. R. Biomass Chemistry. In: CHENG, J. **Biomass to renewable energy processes**. London: Boca Raton, 2010. 505p.

KLOCK, Umberto. Qualidade da madeira juvenil de *Pinus Maximinoi* H. E. Morre. **Tese (Doutorado em Ciências Florestais)** –Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 324p. 2000

LIMA, A.F.; ASSUMPÇÃO, R. M. V. Pré-hidrólise da madeira: influência de algumas variáveis. **O Papel**, São Paulo, v. 43, p. 39-50, mar. 1982.

MORAIS, A. P. S. **Efeito do processo de auto-hidrólise e caracterização química da madeira de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis***. 92p. 2015.

RAFQUL, I. S. M. A.; SAKINAH, A. M. M. Design of process parameters for the production of xylose from wood sawdust. **Chemical engineering research and design**, dec. 2011.

SANSÍGOLO, C. A. **Seleção de árvores matrizes para a produção de polpa Kraft-AQ**. 2000.157 f. Tese (Livre Docência em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2000.



SANTOS, S.; SANSÍGOLO, C. A. Influência da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na qualidade da polpa branqueada. **Ciência Florestal**, v.7, n.1, p.53-63, 2007

SMALIAN, H. L. Beitrag zur Holzmesskunst Strausund: **Dank**, 1937. 124 p.

SMITH, A.; CULLINAN, H.; KRISHNAGOPALAN, G. Effect of hot water extraction conditions on the subsequent kraft pulping of pine chips. **TAPPI Engineering, Pulping & Environmental Conference**, Portland, Oregon, p. 1-13, August. 2008.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry** : fundamentals and applications. 2nd ed. Helsinki: Academic Press, p. 293, 1992.

STAMM, A.J. **Wood and cellulose science**, New York: Ronald Press, 1964. 549 p