

BIOTRATAMENTO ENZIMÁTICO: UMA ALTERNATIVA PARA AUMENTO DA ECOEFICIÊNCIA NA INDÚSTRIA DE PAPEL RECICLADO

Jefferson Luiz Lopes (SENAI) jefferson.lopes@pr.senai.br
Gilson da Silva Cardoso (SENAI) gilson.cardoso@pr.senai.br
Marcilene Rocha dos Santos (SENAI) marcilene.santos@pr.senai.br

Resumo:

As fábricas de papel buscam estratégias para maior sustentabilidade ambiental, assim, este trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da enzima celulase no consumo de energia na produção de papel reciclado. Para isto, amostras de papel reciclado foram submetidas ao tratamento enzimático antes da refinação com dosagens de 500 e 1000 g de enzimas/ tas por 1 hora, sendo a amostra de controle analisada sem a aplicação de enzimas. Após o tratamento enzimático foi realizada a refinação das amostras no refinador Jokro, até grau de drenabilidade de aproximadamente 40° Schöpper-Riegler, e avaliado o consumo de energia por meio do tempo de refinação, observando que a aplicação das enzimas reduz aproximadamente 40% o tempo de refinação em comparação à amostra controle, e apresentou melhoria na qualidade das fibras. Num segundo tratamento, a polpa foi submetida à refinação no refinador Jokro com tempo fixo de 10 minutos, em seguida foram aplicadas enzimas em dosagens de 200 e 500 g de enzimas/ tas durante 1 hora, com exceção da amostra de controle. Nessa etapa observou-se uma queda de 15% em relação ao grau de drenabilidade (Schöpper- Riegler) entre a amostra de controle e amostra com aplicação de 500 g de enzimas, indicando uma melhora na drenagem, o que contribui para economia de vapor na secagem e aumento de produção. Com isto é possível verificar que o pré-tratamento enzimático reduz consumo de energia da refinação e comprovar que o pós-tratamento enzimático pode reduzir o consumo de energia na fabricação do papel.

Palavras chave: Ecoeficiência; fibras recicladas; energia; enzimas.

ENZYMATIC BIOTREATMENT: AN ALTERNATIVE FOR INCREASING OF ECOEFFICIENCY IN THE RECYCLED PAPER MILL

Abstract

Paper mills seek strategies for greater environmental sustainability, this work aims to evaluate the effects of the enzyme cellulase on energy consumption in the production of waste paper. For this, samples of waste paper were submitted to enzymatic treatment before refining with dosages of 500 and 1000 g of enzymes per 1 hour, and the control sample was analyzed without the application of enzymes. After the enzymatic treatment, the samples were refined in the Jokro refiner until approximately 40 ° Schöpper-Riegler drainage, and the energy consumption was evaluated through the refining time, observing that the application of the enzymes reduces the time by approximately 40% refining compared to the control sample, and showed improvement in fiber quality. In a second treatment, the pulp was refined in the Jokro refiner with a fixed time of 10 minutes, then enzymes were applied in dosages of 200 and 500 g of enzymes for 1 hour, with the exception of the control sample. At this stage, a 15% decrease in drainability (Schöpper-Riegler) was observed between the control sample and the sample with application of 500 g of enzymes, indicating an improvement in drainage, which contributes to the saving of steam in the drying and increased production. With this, it is possible to verify that the enzymatic pretreatment reduces energy consumption of the refining and to prove that the enzymatic post-treatment can reduce the energy consumption in the manufacture of the paper.

Key-words: Eco-efficiency; recycled fibers; energy; enzymes.

1. Introdução

Segundo o Panorama Setorial da indústria de celulose, papel, embalagens e artefatos (FIEP, 2016) o estado do Paraná reúne 45 indústrias que atuam no segmento de papel, as quais respondem por 15% da produção nacional, correspondendo a 2,157 milhões de toneladas. Nota-se através desse estudo que do total produzido no ano de 2015 aproximadamente 1,178 milhões de toneladas foram de papel para embalagens representando 55% da produção total, mostrando que a maior parte da produção estadual se concentra neste tipo de papel. Sendo que a maior parte das fábricas se utiliza de fibras recicladas provenientes de aparas de caixas velhas de papelão ondulado.

O uso de fibras recicladas contribui positivamente, tanto com o meio ambiente quanto na redução de energia. Todavia, quem se utiliza dessas fibras tem como desafios restabelecer as propriedades das fibras. De acordo com Hubbe (2014) durante a reciclagem as fibras perdem flexibilidade e inchamento resultando em pior ligação. As formas mais tradicionais de restabelecer essas propriedades envolvem tratamentos mecânicos (refinação) e químicos.

Hubbe (2014) sugere que uma refinação, onde predomina mais fibrilação externa e preservação do volume específico da fibra, possibilita aumentos substanciais nas ligações entre as fibras. O que leva a uma redução de uso de produtos químicos de ligação.

Porém, ao se realizar a ação mecânica de refinação ocorre consumo de energia e na indústria de papel esse consumo afeta em cerca de 18% do custo de produção. Especificamente a refinação representa 18 a 25% do total de energia consumida para produzir papel (BAJPAI, P. et al., 2010).

Atualmente as fábricas de papel têm buscado desenvolver estratégias para atingirem novos patamares de competitividade e sustentabilidade ambiental. Tem-se sugerido como estratégia que esses problemas podem ser superados através de um tratamento enzimático na polpa reciclada. Destaca-se que tratamentos que implicam na diminuição de consumo de energia, especificamente no tocante a refinação, gerarão um efeito benéfico no consumo global de energia da indústria de papel.

Segundo Lynd (2002) a celulase é uma enzima produzida por vários grupos de seres vivos sendo os principais produtores os fungos, bactérias aeróbias e anaeróbias. Os três maiores grupos de enzimas são as endoglucanases, exoglucanases e celobiohidrolases. A celulase atua nas regiões amorfas da celulose, onde ocorrerá forte hidratação e grande inchamento.

Bajpai (2010), em seu trabalho refinou aparas de papelão ondulado num refinador PFI após tratamento enzimático, utilizando dosagens de 0,02, 0,03 e 0,04% por um tempo de 1 e 2 horas, e concluiu através do número de revoluções do refinador e o grau Schopper Riegler que a aplicação enzimática pode gerar redução no consumo de energia durante a refinação de até 30%.

Já Lecourt (2010), em seus estudo utilizando diversas dosagens de celulase conclui que a aplicação enzimática proporciona maior fibrilação nas paredes das fibras, observando que quanto maior a dosagem de enzimas, maior a fibrilação durante a refinação, além de reduzir a intensidade de corte das fibras.

Com isto, o presente trabalho busca avaliar a utilização da enzima celulase para redução do consumo de energia no processo de fabricação de papel produzidos a partir de aparas de papelão ondulado. Para tanto, foi realizado tratamento enzimático na polpa de OCC em duas etapas, sendo em um primeiro momento antes da refinação, e em um segundo momento após a refinação, onde ambos tratamentos foram avaliados por meio da caracterização da polpa.

2. MÉTODOS

2.1 Seleção e preparo das amostras

A matéria-prima estudada foi papelão ondulado reciclado tipo I, o qual foi hidratado e submetido à desagregação para a formação de uma suspensão fibrosa por aproximadamente 10 minutos $\pm$ 5 segundos. Após a desagregação, a polpa foi depurada para remoção de rejeitos (pastilhas e shives). Por fim, foi realizado o ajuste da consistência sendo que toda a pesquisa foi realizada nesta consistência de 6% por ser a consistência de operação do refinador utilizado.

2.2 Caracterização da matéria-prima e testes preliminares

A caracterização química da matéria prima foi conduzida por meio do número Kappa de acordo com a norma ABNT NBR ISO 302:2005 buscando conhecer o grau médio de lignina residual da amostra. Já as análises morfológicas foram realizadas no equipamento Morfi LB, sendo determinado o comprimento e a largura média das fibras, a porcentagens de finos e a porcentagem de corte das fibras.

A amostra também foi submetida a análise do grau Schopper Riegler de acordo com a norma ABNT NBR 14031:2004 e como teste preliminar realizou-se uma curva de refino no refinador tipo Jokro de acordo com a norma ABNT NBR 14346:1999.

Na curva de refino, a polpa foi refinada nos tempos 5, 10 e 15 minutos sendo seguido do teste do grau de drenabilidade. Com esses testes preliminares foi determinado um padrão de grau SR para a realização dos testes com enzimas.

2.3 Tratamento enzimático preliminar ao refino

A enzima utilizada foi a celulase (endo-1,4- β -D-glucanase), a qual requer temperatura de aplicação de 30 a 60°C e pH entre 4 a 6.

Para o tratamento enzimático preliminar ao refino, o qual buscou inferência sobre o consumo de energia durante a refinação e os efeitos do tratamento enzimático na polpa após refino.

Para o tratamento enzimático preliminar ao refino foi observado na literatura que as dosagens de enzimas podem variar de 100 a 2000 g enzima/tas (g/tonelada de polpa base seca). No intuito de verificar o comportamento da ação enzimática foi escolhida uma dosagem média e uma dosagem alta. Assim, para esta etapa, a polpa foi dividida em 3 grupos de amostras, sendo uma amostra de controle (sem aplicação enzimática), uma com aplicação de 500 g de enzimas/tas e outra com aplicação de 1000 g de enzimas/ tas.

Para o tratamento enzimático foi realizada a correção do pH das amostras (com exceção da amostra controle), utilizando solução de ácido sulfúrico até alcançar um pH igual a 4. Com o pH corrigido, as amostras foram aquecidas até a temperatura de 40°C $\pm$ 2°C com auxílio de uma chapa de aquecimento e realizada na sequência a aplicação das enzimas. O período de aquecimento foi de 1 hora $\pm$ 10 no qual manteve-se sob agitação. Após o período de aquecimento, para neutralizar a ação das enzimas, foi utilizada solução de hidróxido de sódio até alcançar pH igual a 8.

2.3.1. Refinação da polpa e avaliação do tratamento enzimático preliminar ao refino

Para refinação da polpa foi utilizado o moinho Jokro, onde foram refinados os 3 grupos de amostra logo após a neutralização das enzimas. A variável escolhida para manter constante foi o grau de drenabilidade (°SR).

Mantendo o °SR constante, a variável dependente foi o tempo de refinação, a qual foi utilizada como base para se estimar, como inferência, o consumo específico de energia.

Para avaliação da polpa após o refino foram realizadas análises morfológicas da polpa, através do equipamento Morfi LB, determinando o comprimento médio das fibras, a largura média das fibras, a porcentagens de finos e a porcentagem de corte das fibras

Por fim, para compreender os ganhos em resistência físico-mecânicas do papel formado, foi analisada a área relativa de ligações (RBA – relative bonded area) sendo feita através do coeficiente de dispersão da luz (S), pela fórmula $(S_0-S)/S_0$, onde S_0 é o coeficiente de dispersão da luz das fibras não-ligadas, obtido com as fibras sem refino e S o coeficiente de dispersão da luz com a polpa refinada.

2.5. Tratamento enzimático pós-refino

Em um segundo momento foi avaliado o impacto do tratamento enzimático após a refinação da polpa, sendo que nesta etapa, a polpa que havia sido desagregada e depurada foi submetida ao refino também no moinho Jokro, onde foram refinadas 3 grupos de amostras sem pré-tratamento enzimático. Novamente, a variável mantida constante foi o tempo, o qual foi de 10 minutos.

Após a refinação as amostras foram submetidas ao tratamento enzimático sendo uma amostra tida como controle, uma com aplicação de 200 g de enzimas/ tas e a outra com aplicação de 500 g de enzimas/ tas.

Para possibilitar a aplicação, o pH das amostras submetidas ao tratamento enzimático foi corrigido utilizando ácido sulfúrico até chegar a 4,5, e a temperatura mantida em 50°C, com auxílio de uma chapa de aquecimento, sendo que o tratamento enzimático foi realizado por um período de 1 hora, tendo as enzimas neutralizadas com elevação do pH para 8 por meio da aplicação de hidróxido de sódio.

2.5.1. Avaliação do tratamento enzimático pós-refino sobre a polpa

Para compreender o efeito da celulase sobre a polpa refinada foi determinada a viscosidade absoluta das amostras de acordo com a NRB 7730 para saber qual o efeito das enzimas no grau médio de polimerização.

Por fim, foram realizadas as análises morfológicas da polpa, através do equipamento Morfi LB, determinando o comprimento médio das fibras, a largura média das fibras e a porcentagens de finos. Ainda, e de acordo com o teste Morfi, foi determinado o índice e fibrilação da fibra após o refino e realizado um comparativo para explicar o efeito das enzimas nas fibras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização matéria-prima

As aparas de papelão ondulado são conhecidas por apresentarem elevado teor de lignina e grande heterogeneidade em sua composição, desta forma o número Kappa analisado variou de 55 a 66, tendo coeficiente de variação de 8,06%. Essa variação afeta as características da polpa como causando impacto na refinação. Quanto ao ensaio de drenabilidade da polpa, o ° SR feito após a desagregação das amostras apresentou variação de 15 a 19, tendo coeficiente de variação de 10,19%.

Quando à distribuição do comprimento médio das fibras, foi possível verificar que 51,8% das fibras analisadas apresentaram comprimento médio entre 0,56 mm a 1,13 mm, sendo 26,9%

das fibras apresentam comprimento abaixo de 0,56 mm e 20,95% possuíam comprimento superior a 1,13 mm.

Esse comportamento já era esperado pelo fato da polpa possuir grande parte de suas fibras degradadas devido ao número de reciclagens e tratamentos mecânicos. Para verificar o impacto da reciclagem, foi observado que a porcentagem de fibras cortadas era de 35,17%, resultado também obtido pelo Morfi.

Quanto a classificação das fibras foram encontradas 61,73% de fibras curtas, 31,9% de fibras longas e 6,37% de finos.

3.2. Comportamento das fibras de OCC com a ação da refinação

Devido ao elevado número Kappa, as aparas de ondulado apresentam dificuldade durante a refinação em comparação com outras polpas recicladas. Assim foi realizada uma curva de refino sem aplicação enzimática buscando verificar o comportamento da polpa com ação da refinação e o tempo de refino necessário para o grau de drenabilidade ($^{\circ}\text{SR}$) alcançar valor igual ou superior a 30, sendo que o resultado desejado foi alcançado com o tempo de refinação de 10 minutos conforme a FIGURA 1, o qual atingiu 36,6 $^{\circ}\text{SR}$.

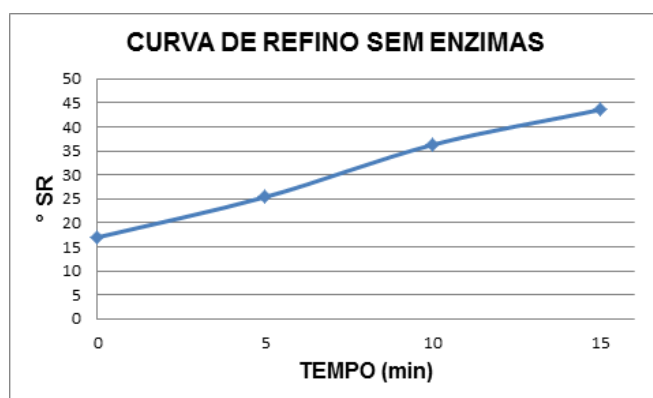


FIGURA 1 – Curva de refino sem enzimas
Fonte: O autor, 2016

Quanto ao efeito da refinação da polpa verificou-se um aumento quase linear no $^{\circ}\text{SR}$ com o tempo de refino.

3.3. Testes preliminares com tratamento enzimático preliminar ao refino

As amostras também foram submetidas à curva de refino após tratamento enzimático, inicialmente com dosagens de 200 g de enzimas/tas e 500 g de enzimas/tas, conforme as FIGURAS 2 e 3.

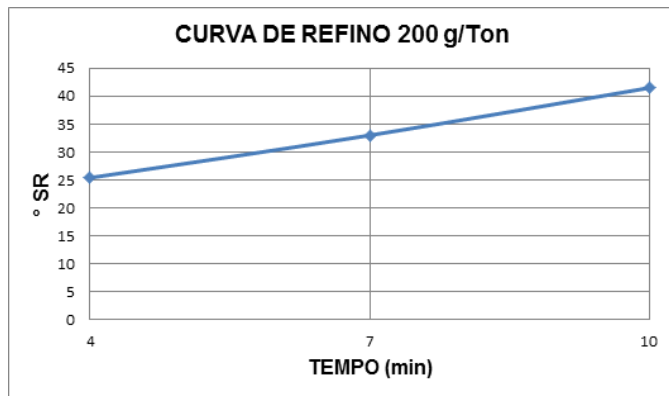


FIGURA 2 – Curva de refino com dosagem enzimática de 200 g de enzimas/tas
Fonte: O autor (2015)

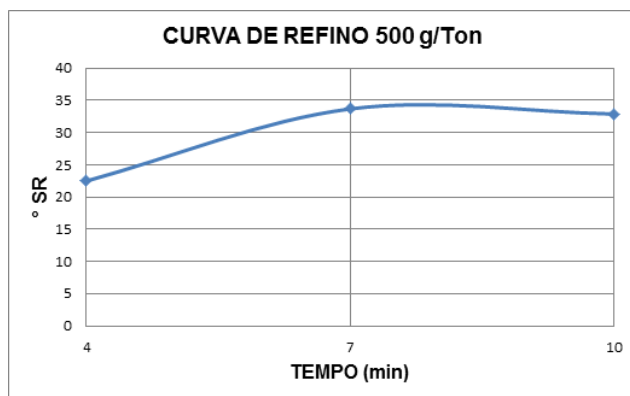


FIGURA 3 – Curva de refino com dosagem enzimática de 500 g de enzimas/tas
Fonte: O autor, 2016

Na curva de refinação preliminar é possível notar ganho em tempo de refinação com a presença de enzimas, onde as curvas apresentam ganho de aproximadamente 30% no tempo de refinação para alcançar o grau de denabilidade alvo.

Quanto ao comportamento da curva, a aplicação de 200 g de enzimas/tas apresentou comportamento linear, similar ao da curva sem aplicação enzimática, já a curva de 500 g de enzimas/tas teve aumento do °SR do tempo 4 minutos para o tempo 7 minutos, e logo após se manteve constante.

O comportamento resultante da aplicação de 500 g de enzimas/tas, devido ser um comportamento diferente do esperado foi escolhido para a avaliação da aplicação enzimática e esta dosagem foi extrapolada para 1000 g de enzimas/tas sendo os resultados mostrados na FIGURA 4.

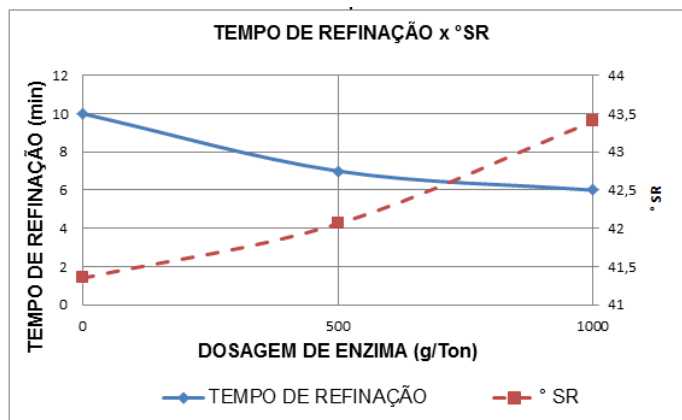


FIGURA 4 – Curva de refinação com dosagens de 500 e 1000 g de enzimas/tas
Fonte: O autor, 2016

Inicialmente, neste tratamento enzimático, foi observado que o °SR alcançou um padrão de 40 com os mesmos tempos utilizados nas curvas de refinação anteriores, dado inicialmente não esperado. Buscando explicar este acréscimo no °SR, foi determinado o número Kappa médio das amostras utilizadas nas primeiras curvas de refino e na última.

Como resultado, foi observado a influência do número Kappa na refinação, onde nas duas primeiras curvas de refinamentos realizadas o número Kappa médio da polpa foi de 61 e da última curva de refino com enzimas foi 57. Esta diferença de número Kappa fez com que a diferença das curvas fosse de aproximadamente 12 pontos com desvio médio de 1,515 pontos como mostra a FIGURA 5.

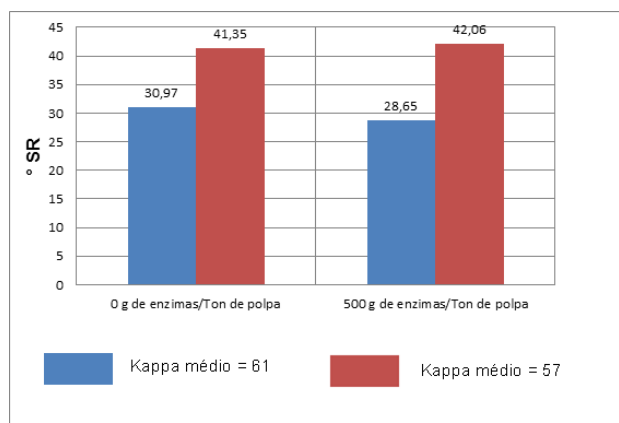


FIGURA 5 – Influência do número Kappa na refinação
Fonte: O autor, 2016

Voltando a FIGURA 4, a grande diferença de tempo de refinação para alcançar °SR próximo a 40, já mostra o efeito da aplicação enzimática no consumo específico de energia durante a refinação, sendo que para a aplicação de 500 g de enzima/ tas apresentou redução de tempo de refinação de 30% e a aplicação de 1000 g de enzimas/tas apresentou redução no tempo de refinação de 40%.

3.4. Avaliação da polpa com tratamento enzimático preliminar ao refino

Conforme já visto, a aplicação enzimática reduz significativamente o consumo de energia, com isto, buscando quantificar a melhoria da qualidade das fibras após refinação, inicialmente foi realizada a análise da largura média das fibras por meio do equipamento Morfi, onde na FIGURA 6 é possível notar que a largura das fibras apresentou aumento médio de 4,27% para a dosagem de 500 g de enzimas/tas em relação à amostra controle, e um aumento de 6,72% para a amostra onde foi aplicada 1000 g de enzimas/tas em relação a amostra controle.

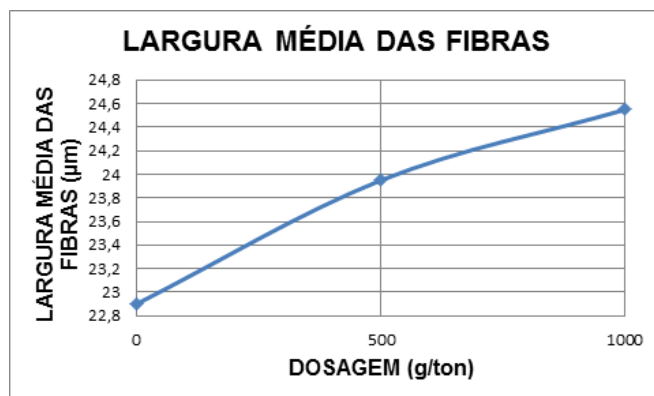


FIGURA 6 – Largura média das fibras de acordo com a dosagem de enzimas.
Fonte: O autor, 2016

Um ponto importante a ressaltar, é que a aplicação enzimática fez com que a polpa atingisse maior fibrilação em menor tempo de refinação sendo verificado pelo aumento da largura média das fibras conforme FIGURA 6, porém não foi observado se esta fibrilação foi interna ou externa.

Assim como a fibrilação, também foi observado aumento na porcentagem de finos e encurtamento da fibra com o aumento da aplicação enzimática sendo estes resultados analisados por meio do equipamento Morfi, conforme mostra a FIGURA 7, sendo que com a aplicação enzimática ocorreu um grande aumento na quantidade de finos.

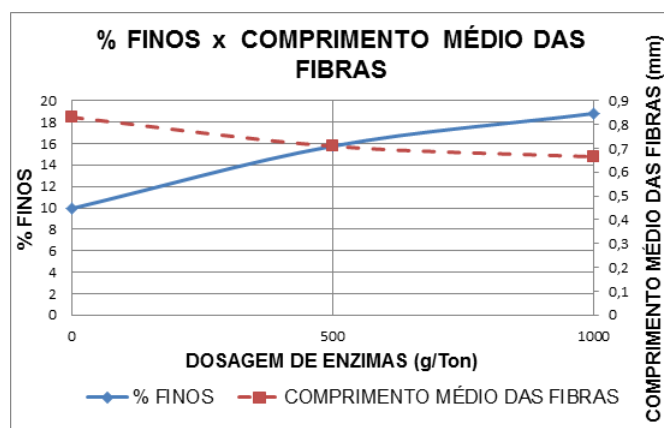


FIGURA 7 – Porcentagem de finos e comprimento médio das fibras em relação a dosagem de enzimas.
Fonte: O autor, 2016

Em relação à amostra controle houve aumento de finos de 30,94% para a dosagem de 500 g de

enzimas/tas em relação a amostra controle e de 47,15% para a dosagem de 1000 g de enzimas/tas.

Outro parâmetro mostrado na FIGURA 7 foi o considerável encurtamento nas fibras com o aumento da carga de enzimas, tendo uma redução de 14,68% para a dosagem de 500 g de enzimas/tas em relação a amostra controle e de 19,97% para a dosagem de 1000 g de enzimas/tas em relação a amostra controle. Este aumento na quantidade de finos e encurtamento das fibras ocorre pelo fato das enzimas atacarem as regiões amorfas das moléculas de celulose, facilitando o rompimento das fibras.

3.5. Avaliação da influencia do tratamento enzimático preliminar ao refino na qualidade do papel

A aplicação enzimática favorece a área de ligação entre as fibras e isto ocorre devido ao maior inchamento das fibras, tornando-as mais flexíveis e aumentando sua colapsabilidade e devido a formação de finos observada pela ação das enzimas sobre a celulose.

Para avaliar isto, foi realizada a análise do RBA a qual apresentou aumento de acordo com a aplicação enzimática como mostra a FIGURA 8.

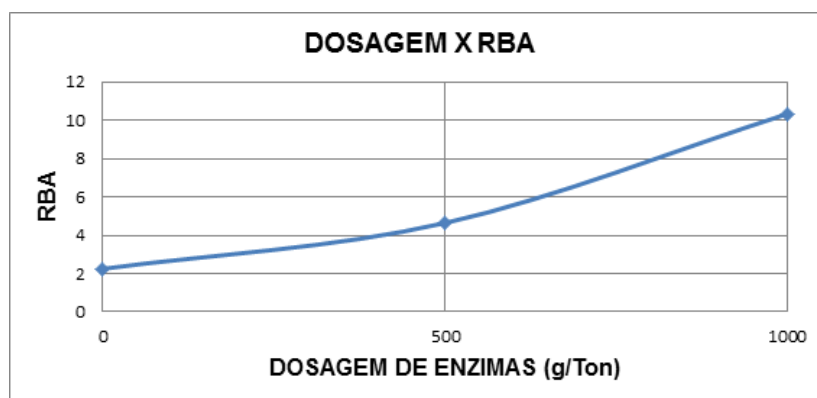


FIGURA 8 – RBA em relação a dosagem de enzimas.

Fonte: O autor, 2016

Com a aplicação enzimática, ocorreu um grande aumento no RBA conforme a FIGURA 8, tendo um aumento de 51,61% para a dosagem de 500 g de enzimas/tas em relação a amostra controle e de 78,26% para a dosagem de 1000 g de enzimas/tas em relação a amostra controle. Este aumento na área relativa de ligações mostra que a aplicação enzimática favorece a interação das fibras podendo trazer melhorias em algumas propriedades do papel.

3.6. Tratamento enzimático pós-refino

Nesta etapa a polpa foi submetida à refinação, inicialmente sem aplicação enzimática, de acordo com a curva de refino apresentada no item 3.2. alcançando grau de drenabilidade médio de 36,6°SR. Após a refinação, divididas amostras foram divididas em 3 grupos onde um foi analisado sem enzimas e nos outros dois foram aplicadas enzimas com 200g de enzima/tas e 500g de enzima/tas, seguindo as condições de aplicações recomendadas e mencionadas anteriormente. Após tratamento enzimático, foram analisados o grau de drenabilidade e a viscosidade absoluta conforme mostra a FIGURA 9.

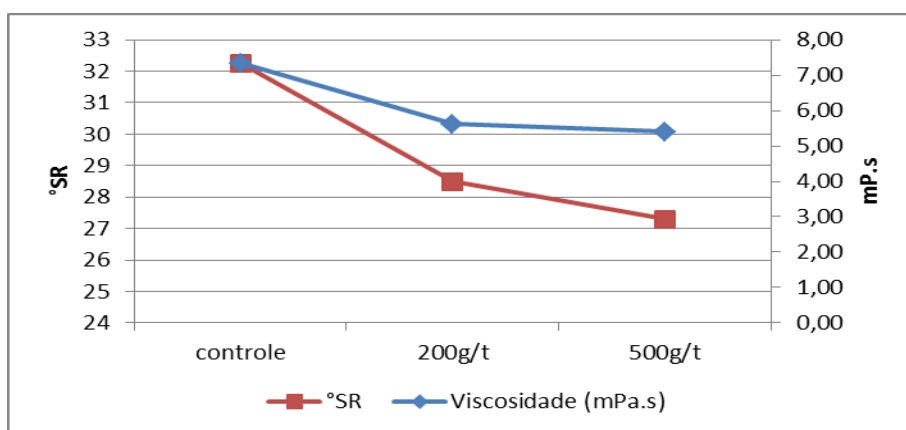


FIGURA 9 – Gráfico Grau de Drenabilidade (°SR) e Viscosidade
Fonte: O autor, 2016

Na FIGURA 9 nota-se que o comportamento entre o grau de drenabilidade e a viscosidade foi semelhante, apresentando uma queda, sendo que isto indica uma melhora significativa na drenagem devido as enzimas provocarem uma descamação na parede da fibra, o que pode reduzir o grau médio de polimerização da cadeia celulósica, fato este que pode ser confirmado com a queda na viscosidade conforme dosagem da celulase.

Conforme ocorre o aumento na dosagem da celulase, tem-se queda nos valores tanto de viscosidade quanto da drenabilidade da polpa (°SR). Porém em relação a amostra de controle a queda na viscosidade com aplicação de 200g de enzimas/tas foi de 23% e com a aplicação de 500g de enzimas/tas 26%, já para o °SR esses percentuais foram de 12 e 15% respectivamente.

A partir desses percentuais, constata-se que seria mais recomendável, tanto pelo aspecto econômico quanto pela qualidade da fibra, a utilização de dosagens próximas a 200g de enzimas/tas, pois os ganhos em drenabilidade são próximos e conforme o aumento da dosagem de enzimas tem-se uma queda de viscosidade o que pode afetar as propriedades físico-mecânicas do papel.

3.7. Avaliação da polpa com tratamento enzimático posterior ao refino

Quanto à morfologia da fibra, foram analisadas a largura média e o percentual de finos, conforme a FIGURA 10.

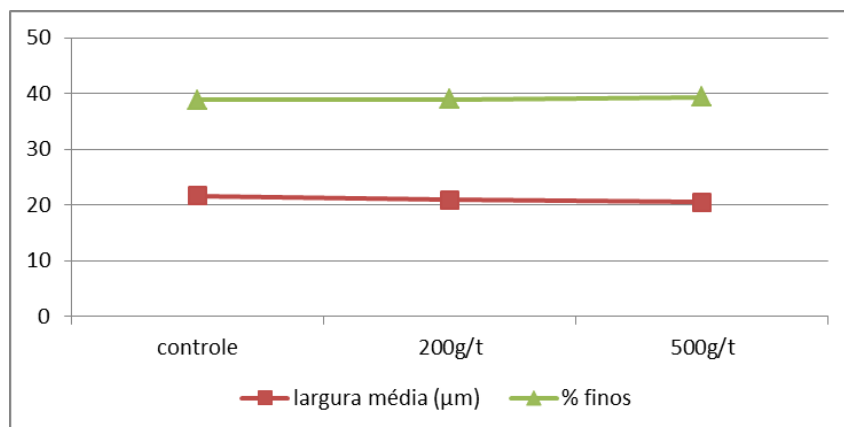


FIGURA 10 – Gráfico de Morfologia das fibras
Fonte: O autor, 2016

Com os dados na FIGURA 10 nota-se que a variação tanto na largura média quanto no percentual de finos foi discreta, sendo que em relação à amostra de controle, a largura média apresentou queda de 3,5% para aplicação de 200g de enzimas/tas e 5,1% para 500g de enzimas/tas.

Já os finos apresentaram comportamento inverso à largura média das fibras, indicando um ligeiro aumento, porém a variação em relação à amostra de controle não é significativa para os finos, sendo os percentuais de aumento 0,4 e 1,5% respectivamente.

Em seu estudo Publio (2012) aplicou enzima antes da refinação em polpa branqueada, contudo o percentual de finos também apresentou um ligeiro aumento. Acredita-se que esse fato pode ser explicado devido a fibrilação mais intensa provocada pela ação das enzimas.

Por fim, a queda na largura pode ser justificada pelo fato das enzimas provocarem uma certa descamação, também vista na queda de viscosidade, porém, como a queda na largura média foi pequena, pode-se dizer que o efeito de degradação não foi de forma agressiva.

4. CONCLUSÕES

Ao longo do trabalho pode-se constatar que a polpa de papelão ondulado é heterogênea, o que foi observado por meio da grande variação do número Kappa e do grau Schopper Riegler. Também se notou diferença nas curvas de refino, onde a variação do número kappa fez com que com o mesmo tempo de refinação parte da polpa atingisse um padrão de 30°SR e em outra curva 40°SR fazendo com que no que refere à polpa de papelão ondulado uma tendência de valores, porém com pouca repetibilidade mostrando assim a dificuldade de se trabalhar com este tipo de polpa.

No que se refere a redução no consumo de energia durante a refinação, as enzimas se mostraram extremamente efetivas, sendo importante ressaltar que a dosagem e a composição da polpa são fundamentais para quantificar esta redução.

O tratamento enzimático preliminar a refinação contribuiu com aumento da fibrilação, aumento da quantidade de finos e provocou encurtamento das fibras sendo que isto ocorreu sem apresentar aumento significativo na porcentagem de cortes.

Em relação ao tratamento enzimático preliminar, também foi observado que o papel formado pela polpa de OCC após esse tratamento seguido de refinação apresentou grande área de ligação entre fibras, que foi observado pela análise do RBA, a qual foi pouco explorada até o momento nas pesquisas relacionadas a aplicações enzimáticas.

Quanto ao impacto do tratamento enzimático após refino pode-se concluir que a utilização das enzimas pode trazer benefícios para o processo com melhora principalmente na drenabilidade, sendo observada nos resultados do grau Schopper Riegler.

Em relação aos aspectos morfológicos as fibras tratadas com enzimas após refino não sofreram grandes alterações em relação à largura da fibra e teor de finos, o que também mostra que apesar da enzima atacar a celulose, o impacto na qualidade da fibra não foi tão significativo, mesmo com decréscimo de viscosidade.

REFERÊNCIAS

- ANDRIONI, J. L.** *Fabricação de Papel – Preparo de Massa*. 2. Ed. Rev. Ampl. Curitiba: SENAI – Departamento Regional do Paraná, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 302: Pastas Celulósicas: Determinação do número Kappa. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 7730: Pastas Celulósicas: Determinação da viscosidade em solução de cuproetilenodiamina (CUEN) com viscosímetro do tipo capilar. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 14346: Pastas Celulósicas: Refinação laboratório: Método Jokro. Rio de Janeiro, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 7263: Papel e Cartão: Determinação da Resistência à Compressão das Ondas. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 14031: Papel: Determinação do grau de Shopper Riegler. Rio de Janeiro, 2003.
- BAJPAI, P. K.** Solving the problem of recycled fiber processing whit enzymes. 2010. Disponível em: <http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_05/BioRes_05_2_1311_Bajpai_Solving_Problems_Recycling_w_Enzymes_932.pdf> . Acesso em 19/12/2014.
- FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO PARANÁ – FIEP.** *Panorama setorial: indústria de celulose, papel, embalagens e artefatos de papel: Paraná 2016/ Federação das Indústrias do Estado do Paraná e Sindicato das Indústrias de Papel, Celulose e Pasta de Madeira para Papel, papelão e de Artefatos de Papel e Papelão do Estado do Paraná*. Curitiba: FIEP, 2016.
- FOELKEL, C.** Individualização das fibras da madeira de eucalipto para produção de celulose Kraft. 2009. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/biolog/art_citados/Individualiza%C3%A7%C3%A3o%20das%20fibras%20da%20madeira%20do%20Eucalipto%20para%20a%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20celulose%20Kraft.pdf> Acesso em 28/02/2015
- HUBBE, M, A.** Prospects for maintaining strength of paper and paperboard products while using less forest resource. 2014. Disponível em: < https://bioresources.cnr.ncsu.edu/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=SaTBJZRkuWhAO_cVdIVAnhwKH8hmQ18dk2on6c8_JME> Acesso em: 18/09/2017.
- LECOURT, M et al.** Cellulase-assisted refining of chemical pulps: impact of enzymatic charge and refining intensity on energy consumption and pulp quality. 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359511310001595>> Acesso em: 19/12/2014.
- LYND, L.R et al.** Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology . 2002. Disponível em: <<http://mmbr.asm.org/content/66/3/506.full.pdf+html>>. Acesso em 19/12/2014.
- MANFREDI, M.** Desenvolvimento de propriedades de papeis reciclados pro tratamento ultrassonico e adição de xilanas. Viçosa 2010. Disponível em: <http://www.tede.ufv.br/tesesimplificado/tde_arquivos/4/TDE-2010-12-09T084215Z-2748/Publico/texto%20completo.pdf>. Acesso em 18/12/2014.
- PUBLIO, R.** Aplicação de celulasas no refino de fibras celulósicas kraft branqueadas de eucalipto. São Paulo 2012. Disponível em: <www.teses.usp.br/2Fteses%2Fdisponiveis%2F3%2F3137%2Ftde-21062013-101408%2Fpublico%2FDissertacao_Roberto_Publio.pdf>. Acesso em: 18/12/2014.