



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS DE BOTUCATU



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

HECTOR SHINDI KAKIHATA

**MICROTOMOGRÁFIA DE BIOMASSAS COM PRÉ-
TRATAMENTO ALCALINO PARA PRODUÇÃO DE
ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO**



Botucatu

2022

HECTOR SHINDI KAKIHATA

**MICROTOMOGRÁFIA DE BIOMASSAS COM PRÉ-
TRATAMENTO ALCALINO PARA PRODUÇÃO DE
ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO**

Monografia apresentada ao Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para a obtenção do título de Bacharel em Física Médica.

Orientador: Prof. Dr. Mário Oliveira Neto

Coorientador: Dr. Liebert Parreiras Nogueira

Botucatu

2022

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Kakihata, Hecthor Shindi.

Microtomografia de biomassas com pré-tratamento
alcalino para produção de etanol de segunda geração /
Hecthor Shindi Kakihata. - Botucatu, 2022

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Física
Médica) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: Mário de Oliveira Neto

Coorientador: Liebert Perreiras Nogueira

Capes: 10501002

1. Biomassa. 2. Etanol. 3. Bagaço de cana -
Subprodutos. 4. Microtomografia por raio-X.

Palavras-chave: Biomassas; Etanol; Etanol de segunda
geração; Microtomografia.

Hecthor Shindi Kakhata

**MICROTOMOGRÁFIA DE BIOMASSA COM PRÉ-TRATAMENTO
ALCALINO PARA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO.**

A Banca Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências de Botucatu, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Física Médica pela Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”.

Orientador: Dr. Mário de Oliveira Neto

Coorientador: Dr. Liebert Parreiras Nogueira

Aprovado em __/__/__.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mário de Oliveira Neto

Instituto de Biociências

Prof. Dr. Luis Antônio Justulin Jr.

Instituto de Biociências

Prof. Dr. Joel Mesa Hormaza

Instituto de Biociências

DEDICATÓRIA

A todos os envolvidos que ajudaram e apoiaram a vida acadêmica em especial aos familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Professor Dr. Mário Oliveira Neto, por toda ajuda, carinho e amizade. Proporcionando um aprendizado tanto profissional quanto pessoal de extrema importância em tempos difíceis.

Ao Coorientador Dr. Liebert Parreiras Nogueira por todo o conhecimento compartilhado e o suporte com equipamentos para a realização do estudo.

A Dra. Sarita Cândida Rabelo, com o suporte na preparação dos pré-tratamentos das amostras.

Aos meus pais, Santo Takeshi Kakihata e Miyuki Hiranaka Kakihata, pelo apoio financeiro, psicológico e emocional.

A todos amigos companheiros da vida acadêmica.

Aos amigos de minha cidade natal, por mesmo longe, darem suporte para a finalização do curso.

A toda equipe de tênis de mesa da Atlética por proporcionarem momentos de descontração.

A todos os professores que contribuíram com minha formação.

Esta pesquisa utilizou recursos do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), uma instalação nacional aberta do ministério da ciência, tecnologia, inovações e comunicações (MCTIC) operada pelo centro nacional de pesquisa em energia e materiais (CNPEM). Agradeço a equipe da linha de luz IMX pela assistência durante os experimentos.

RESUMO

Para um gerenciamento de maior rendimento na produção de etanol, utilizamos a microtomografia em parceria com o Laboratório Nacional De Luz Síncrotron (LNLS) e a Universidade de Oslo (Noruega), para o processamentos de imagens procedentes da luz síncrotron da linha IMX em bagaço de cana de açúcar comparando com os resultados em natura para o aproveitamento da estrutura lignocelulósica, do qual o etanol é derivado, assim reutilizando o seu subproduto para o aumento na produção do etanol em 40% sem a necessidade de grande área de plantio e assim economizando e abaixando o seu custo no mercado atual além de diminuir drasticamente os gases tóxicos do efeito estufa que seria produzido com a queima do mesmo. Com maior taxa de hidrólise da celulose que podemos extrair com o reaproveitamento da biomassa concomitantemente com o pré-tratamento alcalino, iremos ver neste estudo a eficácia da reciclagem do produto orgânico. Para efeito de comparação utilizamos softwares como ImageJ.

ABSTRACT

For greater efficiency management in ethanol production, we use microtomography in partnership with the National Synchrotron Light Laboratory (LNLS) and the University of Oslo (Norway), for image processing from the synchrotron light of the IMX line on sugarcane bagasse comparing with the results in natura for the use of the lignocellulosic structure, from which ethanol is derived, thus reusing its by-product to increase ethanol production by 40% without the need for large planting area and thus saving and lowering its cost in the current market, in addition to drastically reducing the toxic greenhouse gases that would be produced by burning it. With a higher rate of hydrolysis of the cellulose that we can extract with the reuse of biomass concomitantly with the alkaline pre-treatment, we will see in this study the efficiency of recycling the organic product. For comparison purposes we use software such as ImageJ.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVO.....	11
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	12
2.1 LUZ SÍNCROTRON.....	12
2.2 IMX MICROTOMOGRFIA DE RAIOS X.....	13
2.3 ESTRUTURA VEGETAL	14
2.4 ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO	15
3. METODOLOGIA.....	16
3.1 PRÉ-TRATAMENTO ALCALINO.....	16
3.2 METODOLOGIA DO EXPERIMENTO IMX.....	17
3.3 RECONSTRUÇÃO DE IMAGEM.....	18
3.4 ANÁLISE DE IMAGEM.....	23
4. RESULTADOS.....	24
4.1 CANA ENERGIA.....	24
4.2 CANA PRÉ-TRATADA.....	26
5. CONCLUSÃO	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

FIGURAS

Figura 1 – “Estágios para posicionamento da amostra com seis graus de liberdade.”	12
Figura 2 – “Estrutura celular da cana-de-açúcar ”	13
Figura 3 – “(a) Representação esquemática da reconstrução de uma imagem apresentando a projeção, sinograma e imagem conquistada após a retroprojeção.(b) Feixe paralelo ”	19
Figura 4 – “Representação da Teorema da fatia de Fourier ”	20
Figura 5 – “Representação da reconstrução da imagem ”	22
Figura 6 – “Estrutura celular da cana com máscara para delimitação das áreas dos poros, utilizando o programa ImageJ/Fiji”	23
Figura 7 – “Estrutura celular da cana energia slice 1, 105, 245 e 351 respectivamente”	24
Figura 8 – “Estrutura celular da cana pré-tratada slice 1, 100, 199 e 377 respectivamente”	26

TABELAS

Tabela 1 - “área total da amostra em relação a área dos poros cana energia em natura”	25
Tabela 2 - “área total da amostra em relação a área dos poros cana pré- tratada”	27
Tabela 3 - “Média de área entre amostras em natura e pré- tratada”	27

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento do interesse global a procura de novas fontes de combustíveis renováveis e ecológicas com menor impacto no planeta e buscando substituir os tão famosos combustíveis fósseis, os biocombustíveis são uma boa alternativa para contornar esses problemas relacionados ao desperdício de recursos, dinheiro e tempo (BNDES, 2008).

O etanol de segunda geração é a derivada do bagaço da cana que já foi utilizada para a produção de etanol de primeira geração que seria descartada em forma de combustível na queima do mesmo para o funcionamento de maquinários ou apenas não sendo reutilizada e servindo de adubo vegetal. O etanol fabricado em território nacional já contém um grande reconhecimento em todo o mundo por emitir até 61% menos gases do efeito estufa, quando comparado aos tradicionais combustíveis como a gasolina, tendo um menor impacto para o aquecimento global, por ser considerado um biocombustível renovável de baixa emissão de carbono, segundo o Environmental Protection Agency (RABELO, 2010).

Para dar introdução a monografia, devemos ter em mente que a microtomografia computadorizada que utilizamos para obter os dados com representação tridimensional e de quantificação de estruturas vegetais a fim de maximizar o rendimento de produção do combustível vem para auxiliar de forma eficaz esse processo que seria desperdiçado (HANKER, 2016). Dando ênfase no pré-tratamento alcalino utilizaremos os resultados comparando com um padrão do bagaço em natura de cana-energia.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é observar e avaliar os efeitos do pré-tratamento alcalino de cana-energia através da técnica de microtomografia de luz síncrotron, possibilitando a comparação entre este e a amostra de cana-energia in natura para determinar a eficácia na produção de etanol de segunda geração.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 LUZ SÍNCROTRON

A luz síncrotron é uma radiação com um amplo espectro de energia, que pode variar desde o infravermelho até os raios-x. Tal energia é gerada por partículas carregadas (elétrons) sendo aceleradas até 99,997% da velocidade da luz, tendo sua rota desviada e guiadas em órbitas circulares por potentes eletroímãs, que geram um campo eletromagnético, que mantém os elétrons sincronizados para receberem cada vez mais energia a cada ciclo que completam dentro do acelerador de partículas, assim conseguem atingir o seu alvo e temos uma imagem mais nítida com o seu foco (LNLS, 2021).

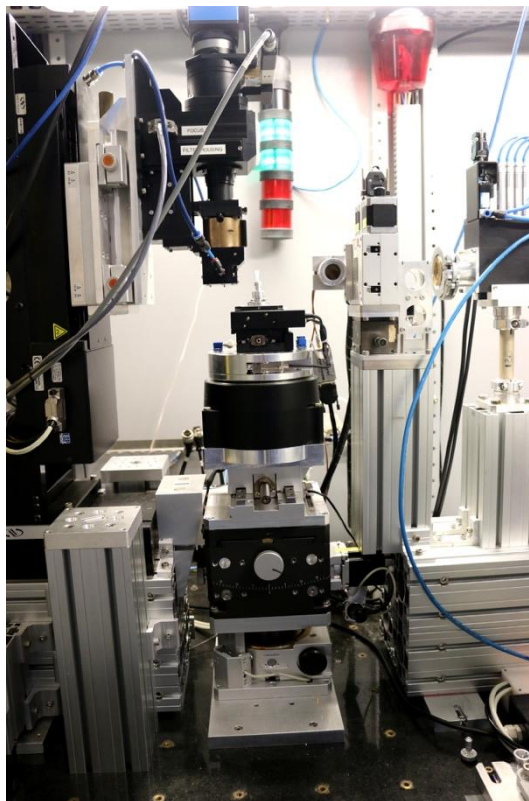
Como previsto pelos pesquisadores Dmitri Iwanenko e Isaak Pomeranchuk já em 1944, a luz síncrotron é capaz, assim como outros tipos de radiações ionizantes, penetrar em estruturas sólidas em nível molecular e atômico, e como tem uma ampla faixa de energia consegue ter uma efetividade grande em relação a fenômenos que ocorrem em microssegundos graças ao alto fluxo e alto brilho produzido pela radiação de fuga (ILDUS, 2017)

2.2 IMX MICROTOMOGRAFIA DE RAIOS-X

A microtomografia de raios-x são imagens adquiridas em três dimensões cuja faixa de energia varia entre 4 e 20 keV (quilo eletrovts). Utilizando de um feixe monocromático juntamente com cristais multicamadas de Si(111) e Ru/B4C que são utilizados como monocromadores para se reduzir o espectro de energia a um única energia. Na figura 1 podemos observar o maquinário de estágios para posicionamento da amostra com seis graus de liberdade.

Para modelar o feixe com as proporções que desejamos são usadas fendas. Com o feixe já modelado, o mesmo passa para o monocromador onde tem uma janela de Berílio que mantém sua temperatura com resfriamento por água, e em seguida para evitar a sua atenuação, passa por um caminho a vácuo selado por janelas de Kapton, para em seguida ter o seu controle de energia feita por três filtros de silício de diferentes espessuras (LNLS, 2021).

Figura 1 – “Estágios para posicionamento da amostra com seis graus de liberdade.”



Fonte: Laboratório Nacional de Luz Síncrotron.

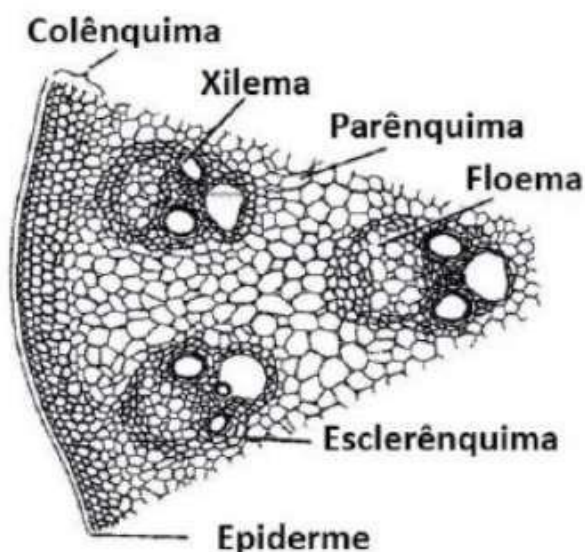
Esta pesquisa utilizou recursos do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), uma instalação nacional aberta do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) operada pelo Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM). Agradecemos a equipe da Linha de Luz Síncrotron pela assistência durante os experimentos.

2.3 ESTRUTURA VEGETAL

A estrutura vegetal (Figura 2) que iremos nos basear é o bagaço de cana de açúcar que contém: epiderme, colênquima, xilema, parênquima e floema. Dentro dessas diversas estruturas podemos encontrar inúmeras fibras contendo celulose, hemicelulose e lignina que são componentes essenciais para a condução da seiva (água e açúcares) (RAVEN, 2011).

A celulose e a hemicelulose são encontradas em sua maior quantidade no parênquima enquanto a lignina no esclerênquima. Esses compostos são muito importantes para o estudo pois a sua hidrólise pode liberar a glicose com seis carbonos, assim quando fermentada, tem como produto final o biocombustível. Vale ressaltar a facilidade de quebra da cadeia estrutural molecular da hemicelulose quando comparada com a celulose, porém o processo utilizado para a fermentação e produção do bioetanol não é tão desenvolvido para a glicose com apenas cinco carbonos (BNDES, 2008).

Figura 2 – “Estrutura celular da cana-de-açúcar”.



Fonte: Modificado de Almeida (2019)

2.4 ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

Combustíveis não renováveis como: petróleo, gás natural e carvão, são limitados em questão de sua produção e criam muito impacto em relação ao aquecimento global, uma vez que produzem o dióxido de carbono (CO_2) (LORENCINI, 2013).

O etanol de segunda geração, mesmo ainda em desenvolvimento, utiliza da biomassa como combustível com menor impacto à natureza e muito mais viável economicamente, pois não necessita de maiores áreas de plantio das que já existem, além da maior disponibilidade de material lignoenergético no Brasil assim como nos demais países (PACHECO, 2011).

Para exemplificar os processos de sua produção, utilizaremos de uma biomassa, como a cana energia, e aplicamos um pré-tratamento para realizar a quebra da estrutura da lignina, isso é, quebrar a estrutura celular para que a celulose possa interagir e hidrolisar com o coquetel enzimático. Assim que obtivermos a glicose, a partir da celulose hidrolisada, podemos fermentá-lo para assim produzir o etanol.

3 METODOLOGIA

3.1 PRÉ-TRATAMENTO ALCALINO.

O pré tratamento alcalino foi feito com bagaço de cana-de-açúcar seco em temperatura ambiente, e moída para a caracterização de partículas lignocelulósicas. Foi utilizado o hidróxido de sódio juntamente com o equipamento “instrumentos Parr (EUA) - 4532 Floor Stand Reactor, 2000 mL, Moveable Cart c / 4848 Controller” para misturar toda a amostra de forma mecânica. Não foram utilizadas nenhum tipo de aditivo que facilitasse a hidrólise enzimática, nem conservantes para preservar a celulose (NASCIMENTO, 2016).

Segundo Nascimento (2016, p.3610) “Em cada experimento de pré-tratamento, 50 g de bagaço de cana-de-açúcar seco foi colocado no reator com 500 mL de solução de hidróxido de sódio (conforme delineamento experimental) e com ou sem 0,15% (p / p) de antraquinona (AQ).

O reator foi fechado hermeticamente e aquecido até atingir a temperatura de trabalho (130 °C). Quando o tempo de reação passou, o reator foi descarregado e a fração sólida (doravante referida como celulignina) foi separada da fração solúvel rica em lignina por filtração em um filtro Buchner. A celulignina foi bem lavada até pH neutro.” Em tradução livre.

A temperatura de 130 °C, obteve um rendimento superior, com rendimento de 293kg de glicose, com a hidrólise de 1 tonelada de cana de açúcar crua. Apesar do maior rendimento, para esta pesquisa foi utilizada o Pré-Tratamento alcalino: 130°C, 30 min., 1,5% NaOH (m/v) - Cana energia in natura.

3.2 METODOLOGIA DO EXPERIMENTO IMX.

As amostras do bagaço de cana-de-açúcar em natura e pré-tratada foram analisadas no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), localizado na cidade de Campinas/ SP, no Brasil.

Os dados foram coletados no IMX, que utiliza a fonte de luz síncrotron UVX, de segunda geração. Esta radiação é emitida pelo imã de dipolo D6, que tem um campo magnético de 1,67 T e raio de curvatura de 2,736 m.

A operação desta linha ocorre com feixe rosa, em que o monocromador possui dois tipos de cristais – Si(111) e par de cristais multicamadas de Ru/B4C – resfriados a água - e fica localizado a 12 metros de distância da fonte, para cortar baixas energias do feixe branco (C et al., 2017).

Foi utilizado um microscópio óptico combinado com a câmera de modelo PCO.2000, a qual é um CCD de 14 bits de alta resolução, com um tamanho de sensor de 2048x2048 pixels, em que cada pixel possui 7.4 μm . Foi usado a configuração de alta dose, para feixe branco, uma objetiva 10x, resultando em um FOV (campo de visão) de 1,64 x 1,64 mm².

O posicionamento do detector foi colocado próximo das amostras, 260 mm. As amostras foram posicionadas num goniômetro, onde podia girar em torno do próprio eixo enquanto 1024 projeções igualmente espaçadas eram adquiridas. O mesmo procedimento foi feito tanto para cana em natura quanto para pré-tratada.

Para ambas amostras foi usado uma distribuição de energia de 4 keV a 25 keV, sem filtros e com tamanho final de pixel de 0,82 x 0,82 μm^2 . O tempo de aquisição das tomografias foram de 18 e 19 minutos para a amostra in natura e pré-tratada, respectivamente.

Os raios X passaram pelas amostras e depois por um vidro de capilares de carbono - para não ocorrer a movimentação da amostra - que incide sobre um cintilador que transforma a radiação incidente em luz visível. Assim a imagem foi magnificada e focalizada sobre o detector (câmera CCD). A técnica experimental de contraste de fase foi utilizada durante o processo (ARAÚJO, 2021).

Para a delimitação da área dos poros, utilizamos o software ImageJ/Fiji. Primeiramente aumentamos o contraste da imagem e em seguida utilizamos de máscara de contorno juntamente com um seletor para delimitar a área total da amostra e em seguida apenas a área dos poros, assim tendo uma razão área total/

área dos poros utilizando a unidade de medida em pixel para determinar a eficácia do pré-tratamento.

3.4 RECONSTRUÇÃO DE IMAGEM

O processo de reconstrução da imagem envolve a obtenção de uma imagem tridimensional (3D) do objeto de pesquisa a partir de uma imagem bidimensional (2D). O algoritmo de reconstrução tomográfica usa a transformação de Radon para fornecer um conjunto de dados de pixel (para fatia 2D) ou voxel (para volume 3D) a partir desses dados de entrada (HANKE 2016). Os raios X passam pelo material e são absorvidos e refratados ao longo do caminho. O número de fótons por segundo, chamado de intensidade do feixe, é dado pela lei de Beer-Lambert,

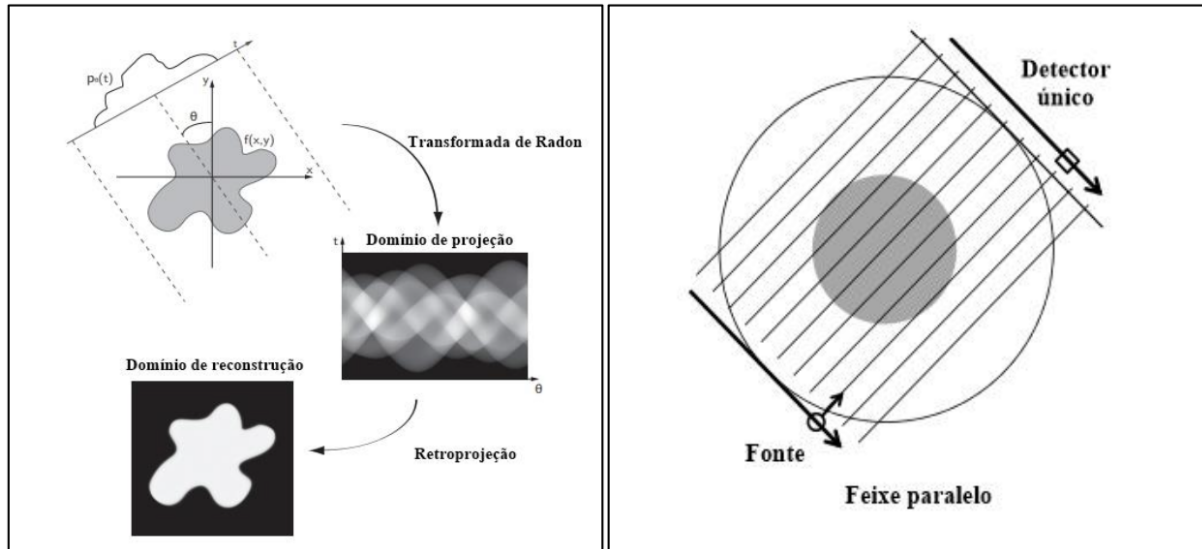
$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

Onde I é a intensidade da radiação transmitida e I_0 é a intensidade do incidente (ALMEIDA, 2019; MENDES; SOUZA, 2019). Para meios não homogêneos, o coeficiente de atenuação é integrável. Reexpressando a Equação 1, temos:

$$\int \mu(x, y) dS = \log_e \frac{I_0}{I} \quad (2)$$

A equação acima detalha o resultado da projeção linear do material em todo o comprimento da direção S . Em cada ponto do material, para definir $\mu(x, y)$, é realizada uma transformação de Radon. Uma vez que o valor de atenuação é encontrado 16 A imagem pode ser reconstruída a partir do algoritmo, no caso deste trabalho, retroprojeção filtrada, método de análise. Considere um sistema de coordenadas cartesianas ortogonais bidimensionais (x, y) , que define uma função de um material bidimensional $f(x, y)$, conforme mostrado na Figura 3 (a). Portanto, o valor desta função representa o coeficiente de atenuação μ do material digitalizado na posição correspondente. Na Figura 3 (a), podemos observar a função detector $p\theta(t)$, que é definida como uma função unidimensional pela projeção de uma função bidimensional na direção teta. Levando em conta o domínio de projeção como um sistema de coordenadas (θ, t) , em que as funções de $f(x, y)$ são armazenadas para $\theta \in [0, 2\pi)$ e $t \in \mathbb{R}$.

Figura 3 — (a) Representação esquemática da reconstrução de uma imagem apresentando a projeção, sinograma e imagem conquistada após a retroprojeção. (b) Feixe paralelo.



Fonte: Modificado de Aarle (2012).

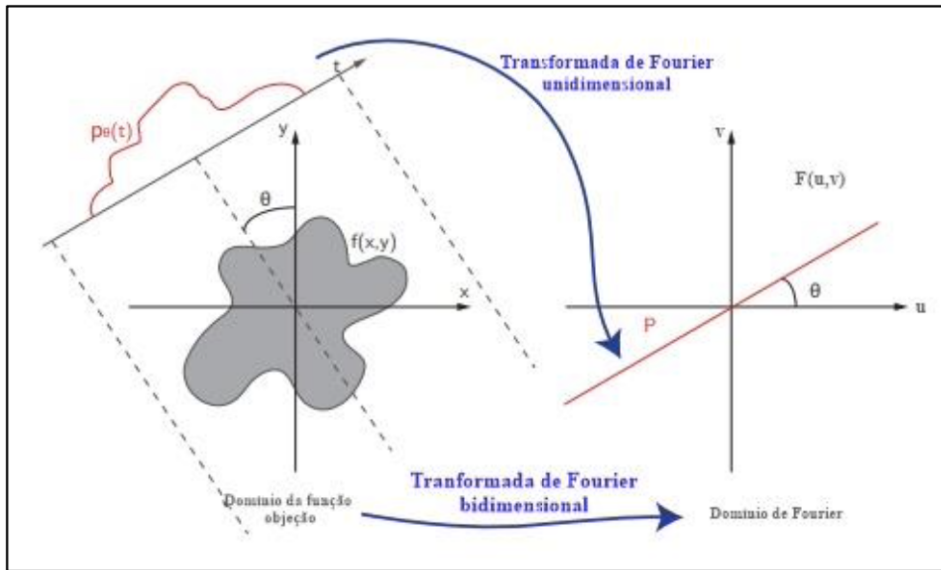
Na projeção do feixe paralelo, na Figura 3 (b), todos os raios projetados são paralelos entre si em cada direção de projeção θ . Para medir a função do detector, a fonte é responsável por se mover ao longo de uma linha perpendicular ao raio. A fonte de luz e o detector giram em torno do centro de rotação $f(0,0)$ por sua vez. Para cada ângulo $\theta \in [0, \pi)$ e deslocamento do detector $t \in \mathbb{R}$, a projeção do feixe paralelo da função $f(x, y)$ pode ser determinada por $f(x, y)$ integral de linha ao longo de todo o caminho: $L(\theta, t) = \{(x, y) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R} : x \cos \theta + y \sin \theta = t\}$:

$$(Rf)(\theta, t) = \rho_\theta(t) = \int_{L(\theta, t)} f(x, y) dS \quad (3)$$

Entre eles, R é a transformação do Radon, ou seja, é o operador de transformação para traçar a função material $f(x, y)$ para todo o conjunto de funções detectoras $p_\theta(t)$. O gráfico composto de $f(x, y)$ pode ser entendido pela função $(Rf)(\theta, t)$ (AARLE, 2012; HANKE et al., 2016; SOUZA, 2019) .

O método analítico de reconstrução é baseado no algoritmo de retroprojeção filtrada (FBP), que é frequentemente usado para projeção de feixe paralelo e é baseado no teorema da fatia de Fourier.

Figura 4 — Representação da Teorema da fatia de Fourier.



Fonte: Modificado de Aarle (2012).

A transformada bidimensional de Fourier de $f(x, y)$ é obtida por:

$$F(u, v) = \mathcal{F}\{f(x, y)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-i2\pi(ux+vy)} dx dy \quad (4)$$

A transformada unidimensional de Fourier de $p_\theta(t)$ é obtida por:

$$P_\theta(\omega) = \mathcal{F}\{p_\theta(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} p_\theta(t) e^{-i2\pi\omega t} dt \quad (5)$$

recolocando a equação 3 em 5, obtém-se:

$$P_\theta(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-i2\pi\omega(x \cos \theta + y \sin \theta)} dx dy \quad (6)$$

portanto, utilizando a equação 4, deduzimos que:

$$P_\theta(\omega) = F(\omega \cos \theta, \omega \sin \theta) \quad (7)$$

Reafirmando o teorema da fatia de Fourier.

O domínio de Fourier da função objetivo pode ser realizado pela transformada de Fourier de cada projeção, se todos os dados de projeção de $\theta \in [0, \pi)$ puderem ser acessados e a largura do detector for muito pequena.

A transformada inversa de Fourier 2D gera a função objeto:

$$f_{rec}(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u, v) e^{-i2\pi(ux+vy)} du dv \quad (8)$$

Partindo da definição da transformada inversa de Fourier das coordenadas polares em ω e θ representando o plano (u, v) , o algoritmo FBP pode ser executado, conforme mostrado na expressão a seguir:

$$u = \omega \cos \theta ; v = \omega \sin \theta ; dudv = \omega d\omega d\theta \quad (9)$$

a equação da transformada inversa torna-se:

$$f_{rec}(x, y) = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty F(\omega, \theta) e^{-i2\pi\omega(x \cos \theta + y \sin \theta)} \omega d\omega d\theta \quad (10)$$

A equação 10 é reescrita com a propriedade $F(\omega, \theta + \pi) = F(-\omega, \theta)$:

$$f_{rec}(x, y) = \int_0^{2\pi} \left[\int_0^\infty F(-\omega, \theta) |\omega| e^{-i2\pi\omega(x \cos \theta + y \sin \theta)} d\omega \right] d\theta \quad (11)$$

Conforme a equação 7, $F(\omega, \theta)$ pode ser trocada pela transformada de Fourier da projeção equivalente, $P_\theta(\omega)$:

$$f_{rec}(x, y) = \int_0^\pi q_\theta(x \cos \theta + y \sin \theta) d\theta \quad (12)$$

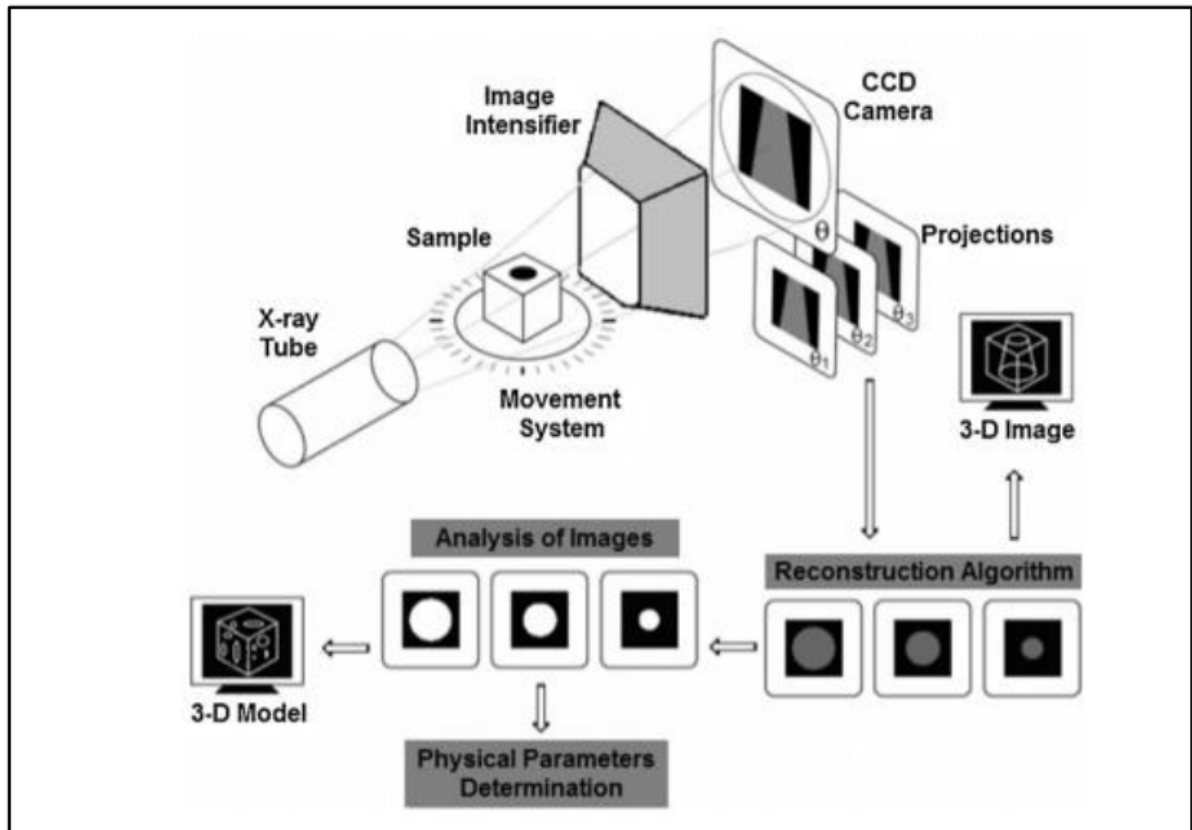
Junto com:

$$q_\theta(t) = \int_{-\infty}^\infty P_\theta(\omega) |\omega| e^{-i2\pi\omega t} d\omega = \mathcal{F}^{-1}\{P_\theta(\omega) |\omega|\} \quad (13)$$

O termo $|\omega|$ é um filtro de inclinação, que é produzido pela transformação de coordenadas retangulares em coordenadas polares. Este termo é denominado matriz Jacobiana, e seu desempenho destaca as altas frequências presentes nas projeções obtidas no sistema de tomografia (AARLE, 2012; ALMEIDA, 2019; NETO, A., 2002; SOUZA, 2019).

A Figura 5 é um diagrama esquemático da aquisição, reconstrução e geração de imagens 2D e 3D.

Figura 5 — Representação da reconstrução de imagem.



Fonte: Modificado de Fernandes; Appoloni; Fernandes (2016).

3.4 ANÁLISE DE IMAGENS

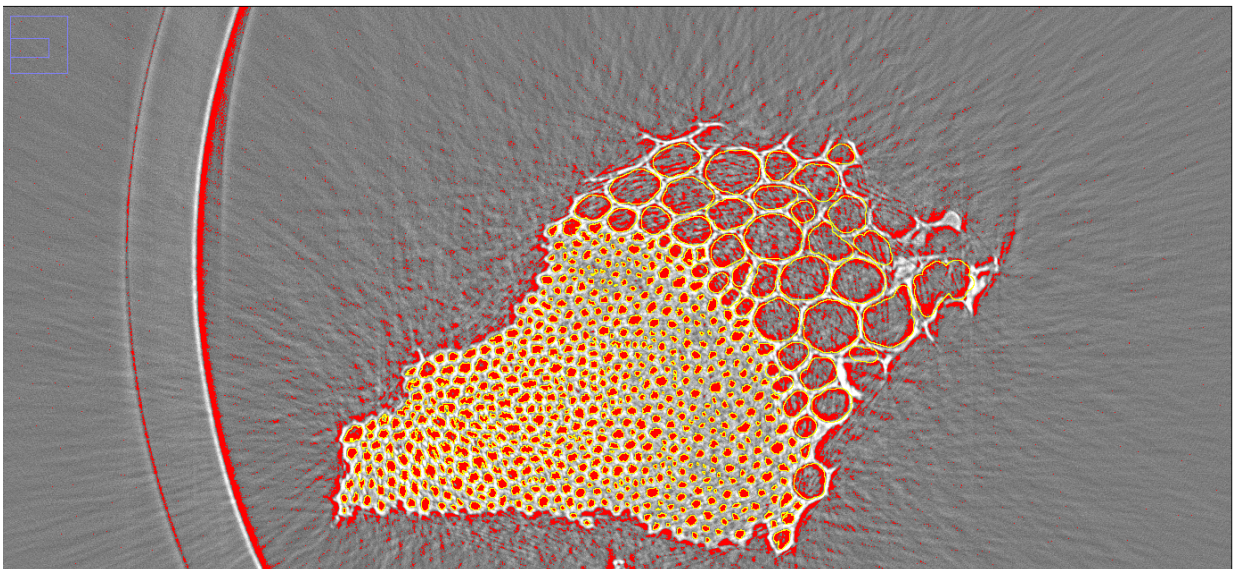
Foi utilizado o softwares Image-J/Fiji para calcular a área dos poros das amostras após a mesma passar pelo pré-tratamento alcalino, assim podendo analisar sua eficácia perante a amostra em natura.

Utilizamos o Image-J para abrir as imagens (.raw) e em (.tif) para seleccionar as imagens cortadas que melhor se aplicam ao estudo.

Após as imagens cortadas, utilizamos o software ImageJ para fazer o threshold, utilizando o tamanho original da imagem situado no nome do arquivo e campo de visão de $1.64 \times 1.64 \text{ mm}^2$. Em seguida, salvamos o arquivo da amostra de (.raw) para JPEG, assim podendo seleccionar uma amostra pequena de 10 slices para o melhor parâmetro de contorno da amostra.

Contornamos a área da amostra com o auxílio do histograma que o próprio programa nos dá suporte (intervalo de 0-100), assim depois utilizamos um brush de 15 pixels para seleccionar as áreas de interesse, após selecionado conseguimos a quantidade de pixels que seleccionamos, em seguida contabilizamos os números de pixels para determinar a área, como podemos ver na Figura 6.

Figura 6 – “Estrutura da cana com máscara para a delimitação das áreas dos poros, utilizando o programa ImageJ/Fiji”.



Fonte: dsi002_2(slice 245)

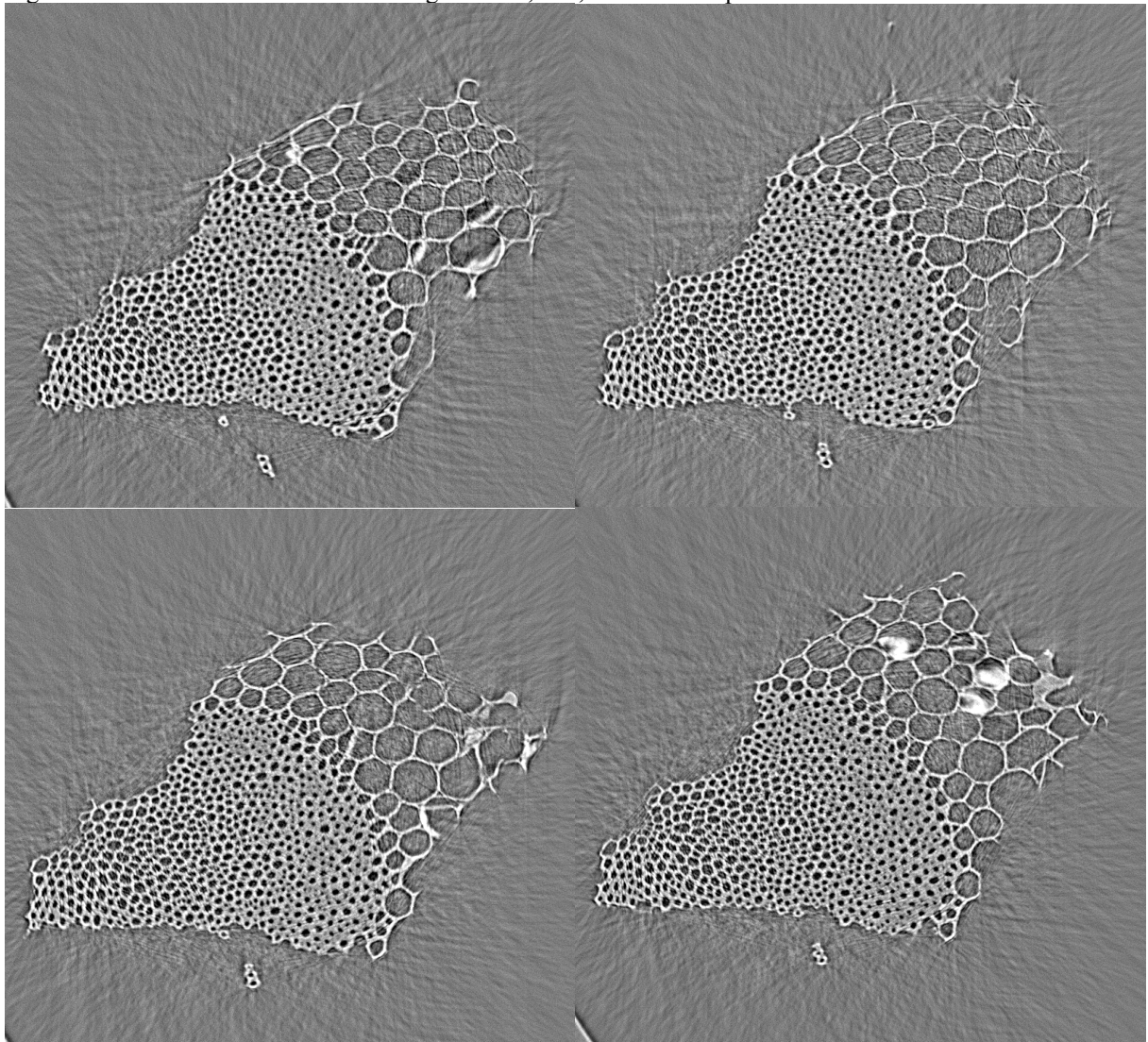
4 RESULTADOS

4.1 CANA ENERGIA

A cana energia é um vegetal geneticamente modificado para o melhor rendimento sucroenergético, uma vez que podemos aumentar o componente lignocelulósico em suas fibras, assim podendo ter uma eficácia mais elevada do que a da cana-de-açúcar na produção de etanol celulósico. Podemos denominá-los de biomassas com intenção específica em produção de energia (SILVEIRA, 2014).

As imagens a seguir demonstram a sua estrutura em natura, ou seja, antes de qualquer preparação ou fermentação para sua utilização para produção de etanol.

Figura 7 – “Estrutura celular da cana energia slice 1, 105, 245 e 351 respectivamente”.



Fonte: dsi002_2(slice 1, 105, 245 e 351 respectivamente)

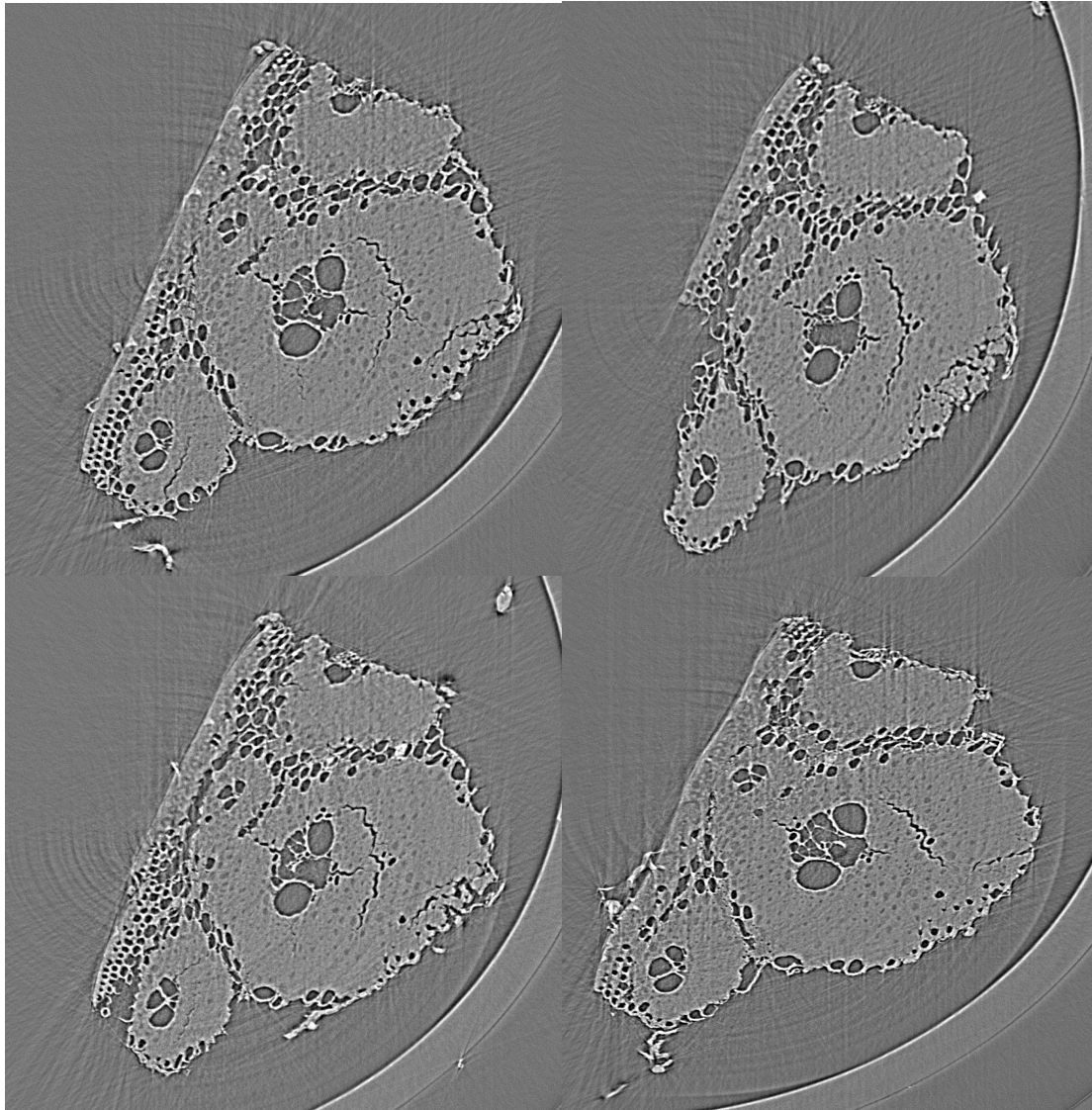
Tabela 1 - “área total da amostra em relação a área dos poros cana energia em natura”

Slice	Área total da amostra	Área dos poros
1	202359 pixels	83115 pixels
36	195543 pixels	87356 pixels
70	208890 pixels	88700 pixels
105	208254 pixels	82907 pixels
140	201176 pixels	85361 pixels
175	200302 pixels	86170 pixels
210	197467 pixels	77681 pixels
245	200387 pixels	82676 pixels
280	191653 pixels	81636 pixels
315	191099 pixels	85149 pixels
351	203424 pixels	86411 pixels

4.2 BIOMASSA PRÉ-TRATADA

A amostra de biomassa com pré-tratamento alcalino tem como princípio a quebra da lignina e a facilidade de interação de hidrólise entre a celulose e o coquetel enzimático. Pré-Tratamento alcalino: 130°C, 30 min., 1,5% NaOH (m/v) - Cana energia in natura;

Figura 8 – “Estrutura celular da cana pré-tratada slice 1, 100, 199, 377”.



Fonte: p014_4 slice1,100, 199 e 377.

Tabela 2 - “área total da amostra em relação a área dos poros cana pré-tratada”

Slice	Área total da amostra	Área dos poros
1	338050 pixels	68443 pixels
34	341665 pixels	62572 pixels
67	350858 pixels	66310 pixels
100	358654 pixels	61075 pixels
133	355878 pixels	61088 pixels
166	351452 pixels	60039 pixels
199	351148 pixels	62575 pixels
232	347471 pixels	60734 pixels
265	348085 pixels	61975 pixels
298	343541 pixels	60109 pixels
377	343431 pixels	60051 pixels

Utilizamos secções de uma mesma amostra tanto na amostra em natura quando na pré-tratada, para a facilitar a visualização da biomassa como um todo não dependendo de apenas um slide para obtermos a conclusão do estudo.

Cada slice de tomografia está acompanhada da tabela que demonstra a área total da amostra em pixel (primeira linha) e a áreas somadas dos poros (segunda linha) para base de comparação.

Para as amostras em natura utilizamos 11 slices diferentes com um intervalo de proporção entre área total e área dos poros de 39,338725% e 44,557533% e média de 42,15433675%. Já nas amostras pré-tratadas utilizamos 11 slices diferentes com um intervalo de proporção entre área total e área dos poros de 17,0289471% e 20,2464133% e média de 17,89301842%.

Todas a medidas de áreas foram feitas manualmente com o auxilio do software ImageJ com ajuste de (ROI), contraste, detecção e seleção de poros e podem contar pequenas variações.

Tabela 3 - “Média de área entre amostras em natura e pré-tratada”

	Menor área dos poros	Maior área dos poros	média
Em natura	39,338725%	44,557533%	42,15433675%
Pré-tratada	17,028947%	20,2464133%	17,89301842%

5 CONCLUSÃO

Com base nos estudos, não podemos concluir que o pré-tratamento alcalino é eficiente. Com a área dos poros em relação a área total da amostra sendo inferior a da cana energia em natura, podemos verificar diferenças consideráveis, uma vez em que as amostras demonstram diferenças estruturais e que a diferença de proporção da área dos poros em relação a área total da amostra é significativa chegando a mais de 50%.

Entretanto, com a pesquisa conseguimos perceber a eficiência dos métodos utilizados e os benefícios de se utilizar um etanol de segunda geração tanto para o meio ambiente quanto em relação aos custos de produção e área de plantio. Podendo considerar sim, uma forma viável de diminuir os impactos de poluição e não necessariamente depender de combustíveis fósseis não renováveis.

Em uma futura continuidade da pesquisa a quantificação de glicose nas amostras pré-tratadas poderão ser uma maneira de visualizar a real eficácia do processo, podendo assim, determinar outros tipos de pré-tratamentos com maior eficácia de hidrólise com o coquetel enzimático.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARLE, W. VAN. **Tomographic segmentation and discrete tomography for quantitative analysis data**. 2012. Dissertação (Doutorado em Ciências) - Universidade de Antuérpia, Antuérpia, 2012.

ALMEIDA, N. M. **Avaliação do pré-tratamento organosolv no bagaço de cana de açúcar**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Física Médica) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

ARAÚJO, L. **Avaliação do pré-tratamento com ácido diluído do bagaço de cana-de-açúcar por técnica de microtomografia**. p.21-22, Botucatu, 2021.

BNDES. **Biblioteca Digital Bioetanol de cana-de-açúcar : energia para o desenvolvimento sustentável** Coordenação BNDES e CGEE. [s.l: s.n.].

C, G. S. R. et al. **IMX Beamline : X-ray Imaging**. p. 1–27, 2017.

FERNANDES, J. S.; APPOLONI, C. R.; FERNANDES, C. P. **Accuracy evaluation of an X-ray microtomography system**. Micron, v. 85, p. 34–38, 2016.

HANKE, R. et al. **X-ray Microtomography for Materials Characterization**. [s.l.] Elsevier Ltd, 2016.

ILDUS S., N. Making Nuclear Physics Industrial Engineering Science: Talented Soviet Physicist with Troublesome Character and Career. **American Journal of Mechanical and Industrial Engineering**, v. 2, n. 3, p. 144, 2017.

LINHA DE LUZ IMX. **LNLS**, Rua Giuseppe Máximo Scolfaro, 10.000, Polo II de Alta Tecnologia de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil. CEP 13083-100. Disponível em < <https://www.lnls.cnpem.br/facilities/imx/>>. Acesso em 20 de maio de 2021.

LORENCINI, P. Otimização do pré-tratamento ácido de bagaço de cana para a sua utilização como substrato na produção biológica de hidrogênio. 2013. **Dissertação (Mestre em Ciências) - Universidade de São Paulo**, Ribeirão Preto, 2013.

LUZ SINCROTRON E SEUS BENEFÍCIOS. **LNLS**, Rua Giuseppe Máximo Scolfaro, 10.000, Polo II de Alta Tecnologia de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil. CEP 13083-100. Disponível em < <https://www.lnls.cnpem.br/sirius/a-luz-sincrotron-e-seus-beneficios/>>. Acesso em: 18 de maio de 2021.

MENDES, A. F. M. **Espectrofotometria**. Disponível em: https://www.ufrgs.br/leo/site_espec/index.html. Acesso em: 25 fev. 2021.

NASCIMENTO, V. M. et al. Effect of anthraquinone on alkaline pretreatment and enzymatic kinetics of sugarcane bagasse saccharification: Laboratory and pilot scale approach. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 4, n. 7, p. 3609–3617, 2016.

NETO, A. R. **Estudo Comparativo entre os Algoritmos de Reconstrução Tomográfica por Retro - projeção Filtrada e Iterativos em SPECTs**. 2002. Tese (Mestre em Ciências) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

PACHECO, T. F. **Produção de Etanol: Primeira ou Segunda Geração?**. Brasília, 2011. ISSN 2177-4420.

RABELO, S. C. **Avaliação E Otimização De Pré-Tratamentos E Hidrólise Enzimática Do Bagaço De Cana-De-Açúcar Para a Produção De Etanol De Segunda Geração**. p. 447, 2010.

RAVEN, P.H.; Evert R. F.; Eichhorn S. E. **Biologia Vegetal**. 7a ed. Editora Guanabara Koogan S. A., Rio de Janeiro. 2011

SILVEIRA L. C. I. **Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar Para Obtenção De Cana Energia**, 2014.

SOUZA, G. S. **Otimização de um protocolo de fixação e marcação para estudo do *rhodnius prolixus* usando microtomografia síncrotron**. Tese (Doutorado em Engenharia Nuclear - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.