



AValiação da Utilização de Espectrometro UV/VIS na Determinação do Teor de Lignina em Polpa Celulósica

EVALUATION OF THE USE OF UV/VIS SPECTROMETER IN DETERMINING LIGNIN CONTENT IN CELLULOSIC PULP

Beatriz Valera Capitina^{1,i}

Cristian Luiz da Silva^{2,ii}

Danilo Silva do Nascimento^{3,iii}

Thiago de Carvalho Cipriano^{4,iv}

Data de submissão: (27/09/2023) Data de aprovação: (22/04/2024)

RESUMO

A fabricação de papel e/ou produtos à base de fibras celulósicas requerem uma matéria-prima com uma pureza e características de resistências consistentes. Para a produção de polpa celulósica que atenda a estes requisitos se faz necessário remoção da lignina presente entre as fibras, através de um processo de hidrólise que fragmenta a estrutura e possibilita a solubilização, proporcionando a liberação de fibras com maior resistência mecânica e rendimento produtivo. A esse processo se dá o nome de cozimento Kraft, que consiste em submeter a lignina a uma hidrólise com hidróxido de sódio e sulfeto de sódio. A análise do teor de lignina é de extrema importância, pois se trata de um indicativo da intensidade da ação química nas etapas do processo, bem como, nas propriedades físicas da polpa celulósica produzida. Atualmente a determinação deste parâmetro é realizado por ensaio físico-químico podendo apresentar resultados não confiáveis devido a alguns interferentes, conhecidos como ácido hexenurônicos, que são gerados no processo de cozimento. A fim de obter resultados de forma mais simples e confiável, propôs-se nesse trabalho um novo método para a determinação do teor de lignina através da utilização da espectroscopia UV-Vis. Observou-se que a leitura do teor de lignina em polpa celulósica apresentou os resultados esperados, em comprimento de onda de 280 nm. Na realização da curva analítica para determinação da concentração de amostra desconhecida, através da análise de padrão, foram encontradas interferências devido a amostra a ser utilizada como padrão se tratava de uma alíquota de lignina em pó modificada.

Palavras-chave: lignina; polpa celulósica; número Kappa.

¹ Pós-graduanda em Análise Instrumental Avançada na Faculdade SENAI Mario Amato. E-mail: beatriz.capitina@gmail.com

² Pós-graduando em Análise Instrumental Avançada na Faculdade SENAI Mario Amato. E-mail: cristian.silva@sp.senai.br

³ Pós-graduando em Análise Instrumental Avançada na Faculdade SENAI Mario Amato. E-mail: danieloscimento@gmail.com

⁴ Docente e Dr. em Nanociência e Materiais Avançados da Faculdade SENAI Mario Amato. E-mail: thiago.cipriano@sp.senai.br



ABSTRACT

The manufacturing of paper and/or products based on cellulosic fibers requires a raw material with consistent purity and resistance characteristics. To produce cellulosic pulp that meets these requirements, it is necessary to remove the lignin present among the fibers. This is achieved through a hydrolysis process that fragments the structure and allows solubilization, providing the release of fibers with greater mechanical resistance and productive performance. The analysis of the lignin content is crucial as it indicates both the intensity of the chemical action in the process stages and the physical properties of the cellulosic pulp produced. Nowadays, the measurement of this parameter is carried out by physical-chemical tests and may present unreliable results due to some interferents, known as hexenuronic acids, which are generated in the cooking process. To obtain results in a simpler and more reliable way, this work proposes a new method for determining the lignin content using UV-Vis's spectroscopy. It was observed that the reading of the lignin content in cellulosic pulp presented the expected results at a wavelength of 280 nm. During the construction of the analytical curve to determine the concentration of the unknown sample through standard analysis, interferences were found due to the sample being used as standard being an aliquot of modified lignin powder.

Keywords: lignin; cellulosic pulp; Kappa number

1 INTRODUÇÃO

As ligninas são constituintes da parede celular, de natureza polimérica e tridimensional, extremamente complexas, formadas pela polimerização desidrogenativa, catalisada por enzimas, via radical livre, dos precursores do álcool cinamílico (Colodette, 2015).

A constituição estrutural das ligninas depende, principalmente, da espécie da madeira, sendo o fenilpropano a sua unidade básica. A natureza das unidades fenólicas dá a esses polímeros características hidrofóbicas, enquanto sua estrutura tridimensional proporciona-lhes rigidez e resistências a forças de compressão (Colodette, 2015).

Na produção da celulose Kraft ocorre a remoção da lignina, que atua como uma substância cimentante entre as fibras da madeira, através de reações químicas de hidrólise alcalina. No processo é utilizado uma mistura composta por hidróxido de sódio e sulfeto de sódio, denominado licor de cozimento, visando o rompimento das ligações estruturais da lignina, reduzindo-a a fragmentos que são removidos junto com licor residual. Após esse processo ainda irá restar um teor de lignina na polpa celulósica.

A polpa produzida é lavada para retirar o licor preto gerado e submetida a processos de branqueamento a fim de remover a lignina residual. O primeiro processo é um pré – branqueamento realizado com gás oxigênio (O_2), esta etapa realiza a deslignificação reduzindo até, aproximadamente 50% do valor de número Kappa. O branqueamento é então realizado em três etapas: a primeira um alvejamento com dióxido de cloro (ClO_2), a segunda uma extração alcalina com hidróxido de sódio (NaOH) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e a última também com dióxido de cloro (ClO_2).



O número Kappa é um método físico-químico para determinar o teor de lignina durante os processos acima e na etapa final, após todos os processos realizados, além de determinar também a qualidade da polpa celulósica produzida. Atualmente, o número Kappa é determinado através da norma ABNT ISO 302:2018 – Pastas celulósicas – Determinação do número Kappa e consiste no número de equivalentes da oxidação com uma solução de permanganato de potássio que serão consumidos na reação com a polpa celulósica sob condições ácidas rigorosamente definidas (Correia, 2019).

Como a determinação do número Kappa é realizada por análise físico-química indireta, podem ocorrer interferências e gerar resultados não confiáveis, pois durante o processo de hidrólise alcalina os grupos ácidos 4-O-metil- α -D-glicurônicos reagem com o álcali e forma metanol e os ácidos hexenurônicos. A formação dos HexA interfere nos resultados tornando-os não confiáveis, esse estudo teve como objetivo avaliar o teor de lignina e propor um novo método de determinação através da utilização da espectroscopia UV-Vis, visando um resultado de forma simples e confiável.

Na literatura é possível encontrar a determinação do teor de lignina no comprimento de onda de 280 nm. Com isso, esse foi o valor de referência utilizado nesse experimento.

1.1 Problema de pesquisa

Ao longo dos anos muitas pesquisas têm sido realizadas visando a melhoria da qualidade e o rendimento da polpa celulósica produzida nas indústrias do setor, envolvendo desde a inserção de aditivos químicos, novas tecnologias e otimização do controle de processo. Dentre estas modificações se destaca a utilização de meios de remoção do ácido hexenurônico, componente indesejável no processo de branqueamento e interferente na determinação da quantidade residual de lignina.

O número kappa é o método utilizado para determinar a lignina residual em polpa celulósica. É realizado para monitorar o processo produtivo desde o cozimento, passando pela deslignificação com oxigênio, possibilitando a quantificação de reagentes químicos utilizados no branqueamento e controle dos níveis de DBO e DQO no setor de tratamento de efluentes.

1.2 Objetivo(s)

Na busca por métodos quantitativos mais eficazes que os já utilizados para a quantificação de lignina, este trabalho dedicou-se ao estudo e elaboração de um procedimento experimental, através da utilização do espectrofotômetro de UV-vis, que permita, de maneira confiável, a determinação dos teores de lignina em amostras de celulose, a partir da construção de curvas de calibração da intensidade do sinal obtido no espectro.

Como objetivos específicos deste trabalho podem ser destacados:

- Aplicação do método sugerido em diferentes amostras de celulose com o intuito de avaliar a eficiência do procedimento.
- Investigação da influência do método sugerido em diferentes amostras de celulose.
- Estudo das possíveis contribuições provenientes da utilização da espectrofotometria de UV-vis na quantificação da lignina residual após etapas do processo produtivo.

1.3 Justificativa

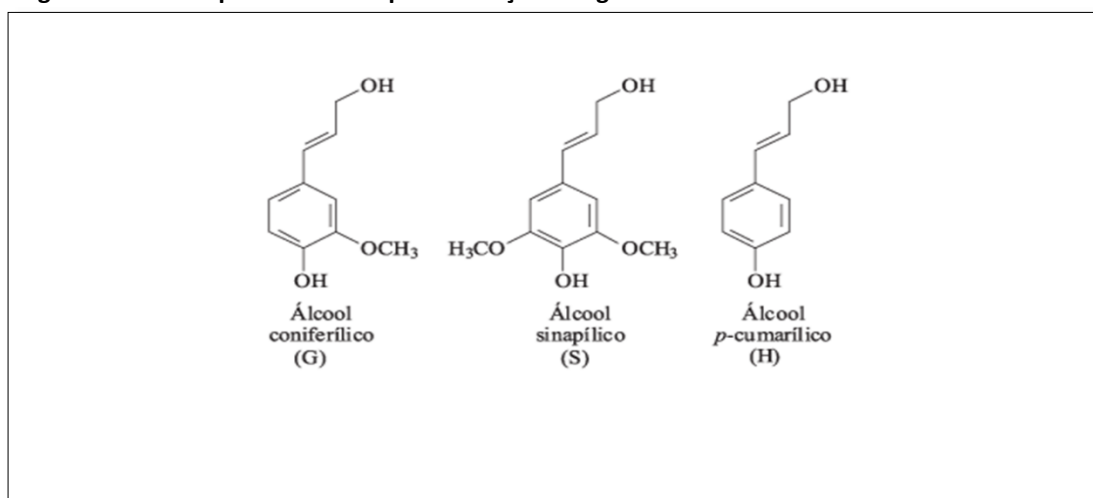
É de extrema importância para uma indústria produtora de polpa celulósica o constante controle da qualidade do produto, sendo necessário a obtenção de resultados de forma rápida e confiável, portanto estudos para a otimização do controle e quantificação da lignina residual se trata de um item importante inserido no contexto de melhoria da qualidade e rendimento da produção de polpa celulósica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A lignina é uma substância orgânica polimérica abundante e se trata de uma parte muito importante da composição da madeira. É um agente ligante que tem a função de manter unidas as células, conferindo uma estrutura rígida e resistente ao impacto, compressão e dobra. Se encontra principalmente na parede celular e na lamela média de células xilemáticas e além das funções estruturais na formação da planta atua também como uma proteção contra o ataque de microrganismos, insetos e outros fatores bióticos.

É um polímero natural de estrutura complexa proveniente da polimerização dehidrogenativa a partir dos seguintes álcoois: álcool coniferílico, sinapílico e o paracumárico. Na figura 1 podemos observar as estruturas químicas desses.

Figura 1 – Álcoois precursores da polimerização da lignina



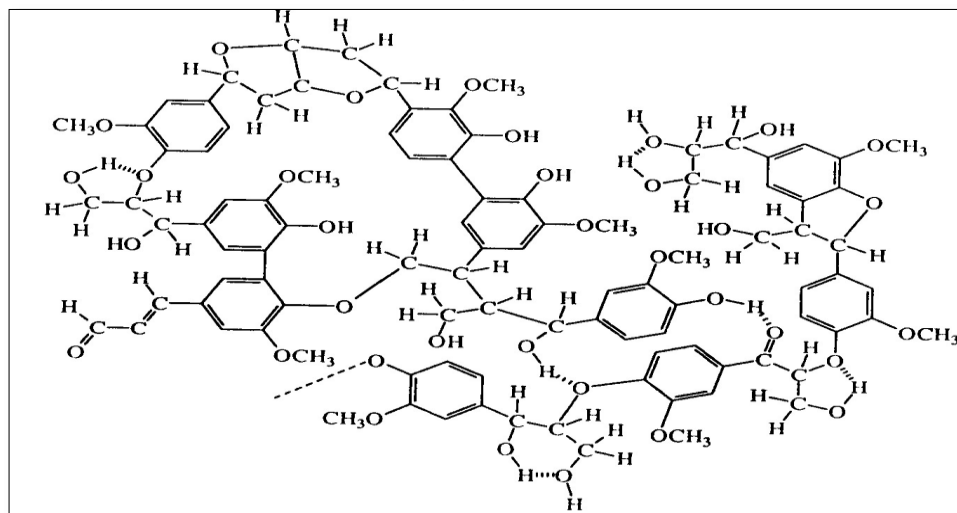
Fonte: Barbosa, et al. (2008 p 2035).

Presente em todos os vegetais ela se diferencia, em sua composição entre as espécies, em gramíneas, por exemplo, encontra-se os três álcoois citados. Já na matéria-prima para a obtenção de celulose encontramos o álcool coniferílico na proporção de 50 a 70% e o álcool sinapílico na proporção de 25 a 50% em madeiras de eucalipto e nas madeiras de coníferas apenas o coniferílico.

Devido a formação de radicais livres formados nos precursores as ligações de formação da lignina são de diversos tipos, resultando assim em uma substância de estrutura molecular complexa e amorfa.

Como podemos observar na figura 2, em sua composição encontram-se os grupos funcionais metoxilas (-O-CH₃), hidroxilas (OH), carbonilas (-CO-), carboxilas (-COOH), éteres (R-O-R'), ésteres (R-COO-R') e ligações duplas (C=C).

Figura 2 - Estrutura molecular da lignina



Fonte: Gunnar, 2009.

Segundo Alén, 2000, p.40, a maioria das ligninas contém quantidades variadas de certos ácidos carboxílicos aromáticos, na forma de éster. Esses ácidos, muito provavelmente, são gerados por elementos secundários que atuam juntamente com os precursores primário na sua formação.

Em se tratando da madeira como matéria-prima a lignina é parte integrante do produto gerado, porém no processo químico para a obtenção de polpa celulósica ela deve parcial ou totalmente retirada, visando um produto de maior pureza.

A retirada é necessária para a separação das fibras que compõem a estrutura da madeira, esta retirada se dá pela solubilização da lignina com a adição de produtos químicos e temperatura, esta etapa é conhecida como cozimento.

No cozimento as fibras são separadas e a lignina, na forma líquida passa a fazer parte do resíduo gerado que é chamado de licor preto. A retirada não ocorre totalmente e a polpa obtida possui ainda um residual, este deve ser oxidado em processos posteriores, caso de uma produção de celulose branqueada.

Atualmente a análise do residual de lignina é realizado através do método de determinação de número *Kappa* (ABNT NBR ISO 302:2018). O ensaio quantifica de maneira indireta através do consumo de KMnO₄ necessários para oxidar a lignina presente em amostras de celulose.

Devido a sua estrutura amorfa possui transição vítrea variável de acordo com método utilizado para seu isolamento. A alta massa molecular também é um fator importante no que se refere a sua solubilização, pois quanto maior for, maior será a temperatura de amolecimento, podendo variar de aproximadamente de 127 a 176°C.

A lignina tem valor de absorção de suas soluções no comprimento de onda de 280nm e não é fortemente afetado pelo hidróxido de sódio, solvente normalmente utilizado para



solubilizar completamente a lignina. Isso faz com que a determinação do teor de lignina utilizando o comprimento de onda de 280nm seja utilizado em muitos trabalhos que hoje existem na literatura (Cruz, 2019).

3 METODOLOGIA

3.1 Preparação das amostras

As amostras foram obtidas através do cozimento de madeira de eucalipto, da espécie *Urograndis* com a adição de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S) em autoclave AU/E - 20 Regmed® à temperatura de 160°C, no laboratório de polpação da Faculdade SENAI São Paulo *campus* “Theobaldo De Nigris”.

A polpa produzida foi lavada para a retirada do excesso de licor preto gerado, após, uma porção foi retirada para ser submetida às etapas de pré – branqueamento, realizada com gás oxigênio (O₂) em autoclave AU/E - 20 Regmed® à temperatura de 90°C e à pressão de 4,5kgf/cm² e branqueamento realizado em três fases, sendo a primeira e a última com dióxido de cloro (ClO₂) e uma intermediária com hidróxido de sódio (NaOH) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂), ambas em banho maria à temperatura de 60°C.

A extração da lignina foi realizada de forma adaptada de acordo com o preparo de amostra para a determinação de lignina insolúvel em ácido, segundo a norma ABNT NBR 7989:2010.

Foram pesados 2g de polpa celulósica seca em estufa e transferiu-se para um béquer e adicionou-se 40 mL de ácido sulfúrico em banho maria à temperatura de 20°C.

Após a total dissolução, as amostras foram filtradas em cadinho de vidro sinterizado e avolumadas em balão volumétrico para 1000 mL.

As leituras das amostras foram realizadas no laboratório de análises instrumentais da Faculdade SENAI São Paulo *campus* “Mario Amato”, em espectrômetro UV-Vis *Specord 200 Plus*®, com a utilização de cubeta de quartzo, a fim de evitar interferências. No início foi utilizado o modo de Varredura Espectral com faixa de 200 a 800 nm, delta lambda de 1nm e velocidade de 20 nm/s. Após não encontrar sinais em outros comprimentos de onda, a varredura foi feita com faixa de 200 a 400 nm.

Foram submetidas à leitura as amostras de polpa celulósica não branqueada e branqueada.

O padrão foi desenvolvido a partir de uma amostra de lignina em pó, solubilizada em meio alcalino e a partir da solução estoque realizou-se 5 diluições.

A exemplo das amostras as diluições foram também submetidas à leitura da absorbância.

As medidas de absorbância encontradas foram plotadas no Software *OriginPro 8*. Uma etapa muito importante para a comprovação da lignina na polpa celulósica é a curva de calibração, pois as amostras que foram realizadas nesse experimento continham teores de lignina desconhecidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

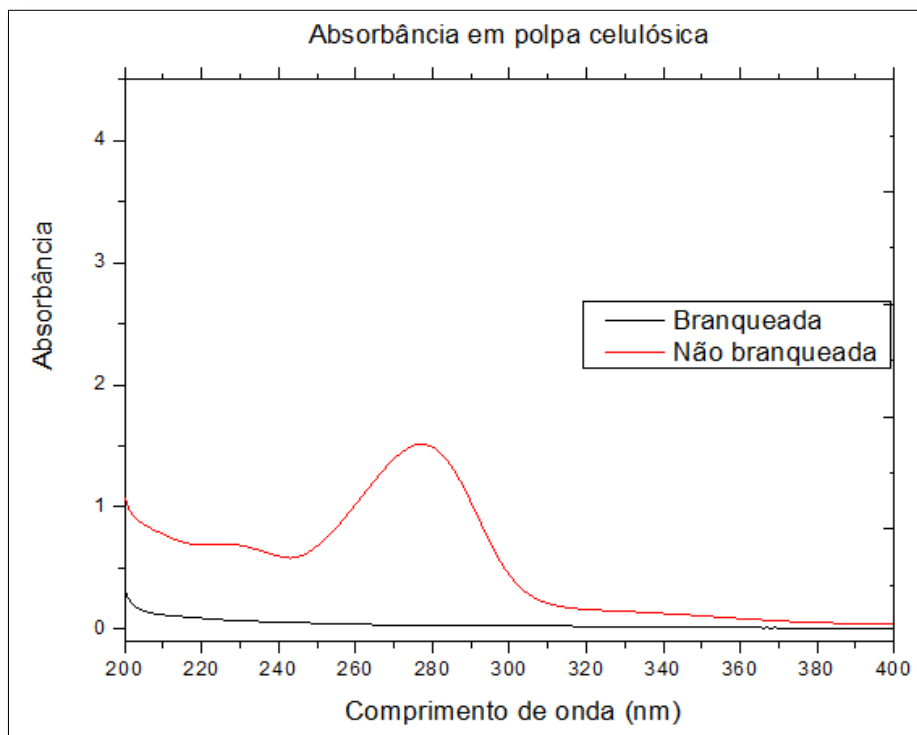
Os resultados obtidos justificam o objetivo da pesquisa e corroboram com a literatura, uma vez que foram evidenciados picos de absorbância no comprimento de onda de 280 nm.

Mostra a diferença de sinal encontrada em amostras de polpas celulósicas não branqueadas e branqueadas, fato este já esperado devido as fases de deslignificação do processo produtivo.

A presença de interferentes se justifica devido à lignina utilizada como padrão ser proveniente do processo de produção *Kraft* de celulose, onde a separação das fibras celulósicas ocorrer sob a ação de uma solução, denominada licor branco, composta por NaOH e Na₂S.

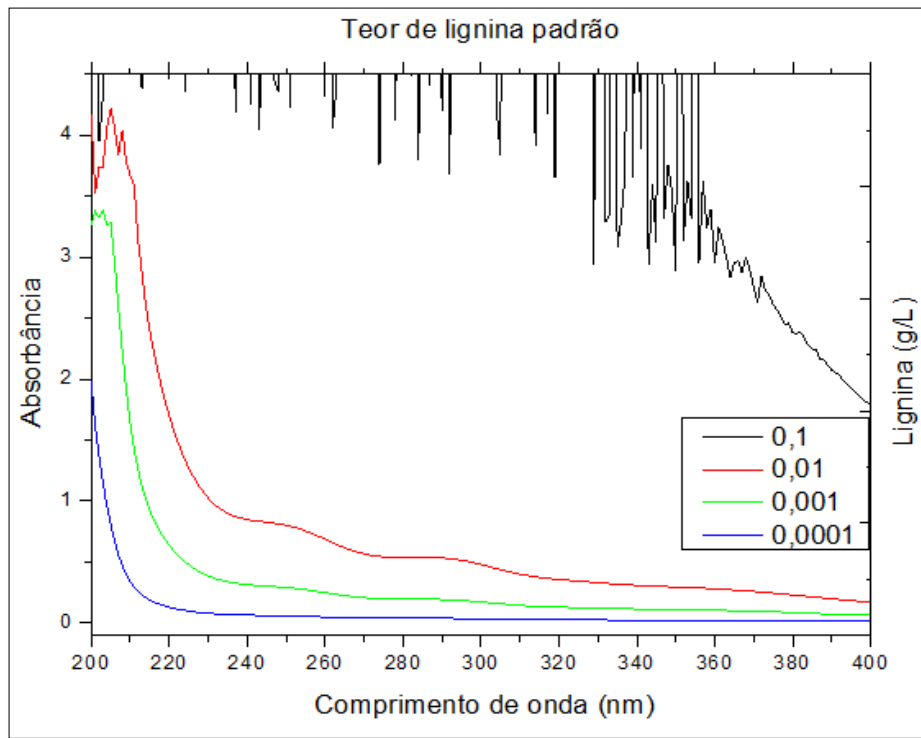
Como resultado desta reação o licor residual gerado é composto de matéria orgânica solubilizada e uma parte inorgânica composta em sua maior concentração por Na₂CO₃ e Na₂SO₄

Figura 3 – Gráfica de absorbância em polpa celulósica



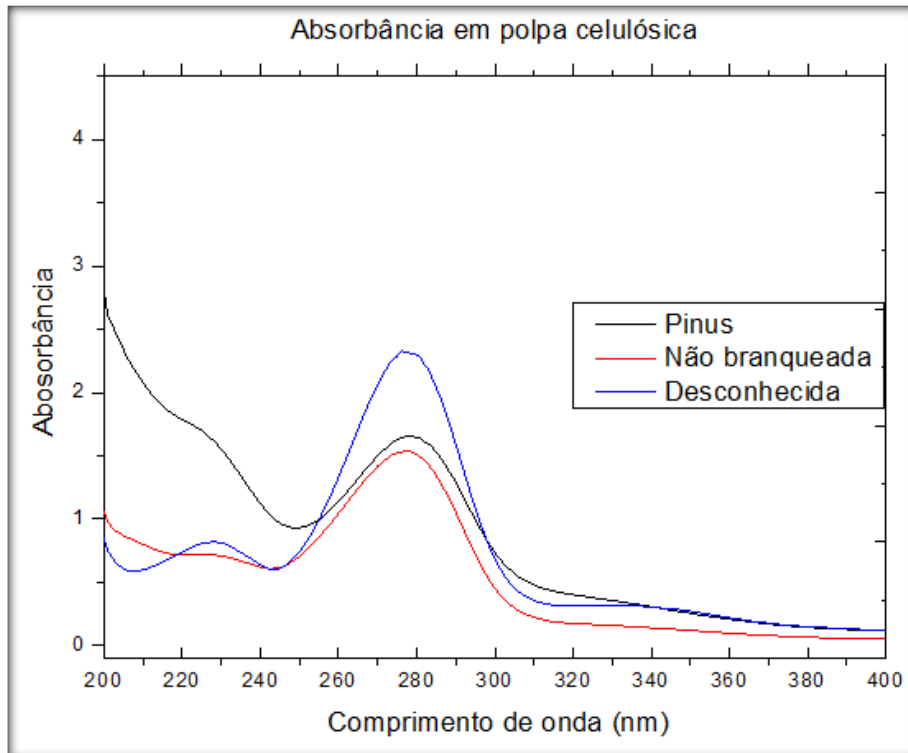
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 4 – Gráfico de absorvância em lignina padrão solubilizado em ácido sulfúrico

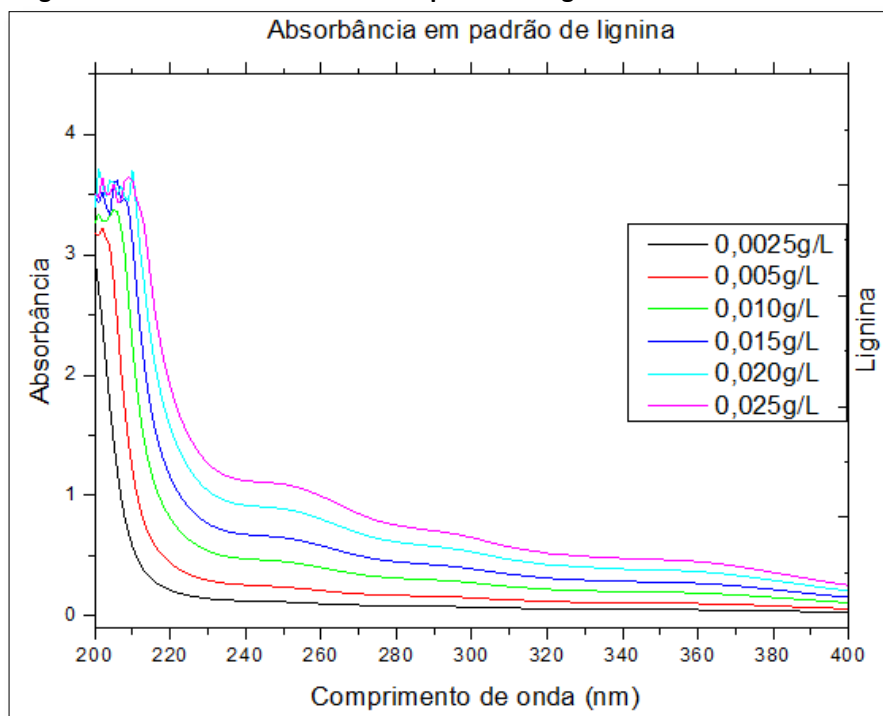


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 5 - Gráfico de absorvância em polpa celulósica



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 6 - Gráfico de absorvância em padrão de lignina solubilizado em hidróxido de sódio

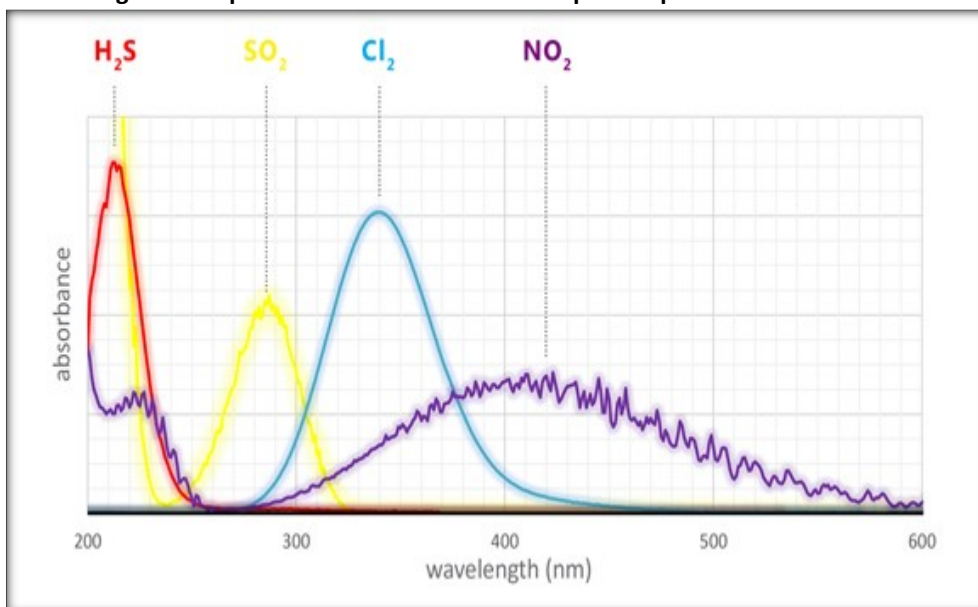
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

No primeiro experimento, foi observado um proeminente pico de absorvância a 280nm na amostra de celulose não branqueada, em conformidade com as expectativas. No entanto, tal padrão não foi identificado na amostra de celulose branqueada, conforme ilustrado na figura 3. Isso destacou a necessidade de estabelecer uma curva padrão utilizando lignina em pó solubilizada em H_2SO_4 72%, em cinco diferentes diluições: 0,1g/L, 0,01g/L, 0,001g/L e 0,0001g/L. Contrariando as observações anteriores nas amostras de celulose, o espectro resultante não apresentou a esperada absorvância acentuada no comprimento de onda desejado, como representado na figura 4.

Posteriormente, o terceiro experimento foi conduzido, analisando amostras de lignina extraída de pinus, celulose não branqueada e uma amostra desconhecida. Ambas exibiram o comportamento esperado, conforme evidenciado na figura 5. Diante desse resultado satisfatório, uma nova curva padrão foi elaborada utilizando lignina em pó em concentrações de 0,025g/L, 0,020g/L, 0,015g/L, 0,010g/L e 0,005g/L, com solubilização em NaOH a 60g/L.

As observações, conforme demonstrado na figura 6, foram coerentes com um espectro analítico que refletiu o decaimento das concentrações inseridas, embora não tenha alcançado a intensidade de absorvância esperada no comprimento de onda alvo. A lignina extraída por processo alcalino, utilizando apenas NaOH, oferece maior pureza e uma massa molecular menor, uma vez que não incorpora outros compostos de enxofre (S) durante a extração.

A lignina em pó empregada como padrão é derivada do processo *Kraft* de produção de celulose, que envolve o uso de licor branco (NaOH e Na_2S) para extração. O licor residual gerado, conhecido como licor preto, retém uma quantidade considerável de compostos de enxofre, incluindo H_2S . A Figura 7 apresenta um gráfico abrangente de uma análise de vários compostos, incluindo sulfeto de hidrogênio.

Figura 7 - Espectros de absorvância de compostos químicos

Fonte: <http://www.aadbl.com.br/oma-process-analyzer.php>

O espectro apresentado na figura acima corrobora com as observações indicadas nas figuras 4 e 6, mostrando que o experimento apresentou picos analíticos em comprimento de onda semelhante ao do composto H_2S gerado durante o processo *Kraft* de produção de celulose de onde a amostra de lignina padrão é proveniente.

A lignina extraída através de um processo alcalino, utilizando exclusivamente $NaOH$, demonstra uma maior pureza e uma massa molecular reduzida devido à ausência de compostos sulfurados (S) gerados durante a extração. Em contrapartida, a lignina em pó empregada como padrão provém do processo *Kraft* de produção de celulose, caracterizado pela utilização de licor branco ($NaOH$ e Na_2S) na extração. O licor residual gerado, conhecido como licor preto, contém uma quantidade considerável de compostos sulfurados, incluindo o H_2S .

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo oferecem informações valiosas sobre o comportamento das amostras de madeira em diferentes estágios do processo produtivo, evidenciando variações esperadas na concentração de lignina em cada etapa. A análise comparativa dos métodos de solubilização para obtenção do padrão revelou similaridades significativas entre eles.

No entanto, a determinação da curva padrão foi inviável devido à interferência do resíduo de enxofre gerado durante o processo de extração da polpa celulósica, impossibilitando sua inserção no equipamento para análise posterior de amostras com teores desconhecidos.

A inconsistência na absorvância dos padrões propostos se mostrou plausível, considerando que o termo "lignina isolada" não é aplicado devido às reações químicas ocorridas durante o processo de separação. A quebra das ligações que compõem a estrutura molecular resulta em alterações nas propriedades químicas, justificando o uso do termo



"lignina modificada" para descrever o produto obtido no processo de separação ou isolamento.

Os resultados indicam que o método proposto para determinação do teor residual de lignina pode ser eficaz para amostras de celulose não branqueada ou de madeira, utilizando-se extração em meio ácido ou alcalino. Sugere-se, para trabalhos futuros, a extração alcalina direta da madeira a fim de criar um padrão com maior pureza e possivelmente livre de interferentes, especialmente considerando a presença de uma fração insolúvel da lignina em espécies de eucalipto em meio ácido. Esta abordagem pode aprimorar a precisão e confiabilidade das análises em estudos subsequentes.

REFERÊNCIAS

APPLIED ANALYTICS DO BRASIL. OMA analisador de processo. 2022. Disponível em: <http://www.aadbl.com.br/oma-process-analyzer.php>. Acesso em 10 jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT 7989:2010**: Pasta celulósica e madeira – Determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro: ABNT, 2010

BARBOSA, Luiz C. A. et al. **Determinação da relação siringila/guaiacila da lignina em madeiras de eucalipto por pirólise acoplada à cromatografia gasosa e espectrometria de massas (PI CG/EM)**. *Química Nova*, v. 31, pág. 2035-2041, 2008.

COLODETTE, Jorge Luiz; GOMES, Fernando José Borges. **Branqueamento de polpa celulósica: da produção da polpa marrom ao produto acabado**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2015.

CORREIA, Flávio Marcelo; D'ANGELO, José Vicente Hallak; SILVA JUNIOR, F. G. Revisitando o número kappa: conceitos e aplicações na indústria de celulose. *O Papel*, São Paulo, v. 80, p. 77-89, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Flavio-Correia/publication/334971002_REVISITANDO_NUMERO_KAPPA_CONCEITOS_E_APLICACOES_NA_INDUSTRIA_DE_CELULOSE/links/5d4832614585153e593d6ed0/REVISITANDO-NUMERO-KAPPA-CONCEITOS-E-APLICACOES-NA-INDUSTRIA-DE-CELULOSE.pdf. Acesso em 25 mar. 2023.

CRUZ, Vitor MV; DANGELO, José Vicente H.; DE OLIVEIRA, Vinicius BLG. **Determinação do teor de lignina total em amostras do processo de extração da lignina do licor negro**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL OUTUBRO, 52., 22 a 24 de Outubro 2019, São Paulo. [Anais...]. São Paulo: ABTCP, 2019. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2019_Determinacao+Lignina.pdf. Acesso em 20 mai. 2023.

D'ALAMEIDA, Mariza L.O.; et al. **Celulose**. 1. ed. São Paulo: Senai-SP, 2013.

GOMES, Regina Maria et al. Avaliação dos constituintes químicos da madeira aplicando diferentes métodos de remoção de extrativos. **Engenharia florestal: desafios, limites e potencialidade**, v. 1, n. 1, p. 195-204, 2020. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Regina-Maria-Gomes/publication/346483544_AVALIACAO_DOS_CONSTITUENTES_QUIMICOS_DA_MADEIRA_A_APLICANDO_DIFERENTES_METODOS_DE_REMOCAO_DE_EXTRATIVOS/links/6020773692851c4ed5578d90/AVALIACAO-DOS-CONSTITUENTES-QUIMICOS-DA-MADEIRA-APLICANDO-DIFERENTES-METODOS-DE-REMOCAO-DE-EXTRATIVOS.pdf. Acesso em 20 mai. 2023.

GUNNAR, Henriksson. **Pulp and Paper Chemistry and Technology**. In: Wood Chemistry and Wood Biotechnology. EK, Monica; GELLERSTEDT, Göran (ed). v. 1, pp. 121-147, 2009.

KOTILAINEN, Risto A.; TOIVANEN, Timo-Jaakko; ALÉN, Raimo J. Monitoramento FTIR de alterações químicas em madeira de fibra longa durante o aquecimento. **Revista de química e tecnologia da madeira**, v. 20, n. 3, pág. 40, 2000.

SALIBA, Eloísa de Oliveira Simões et al. **Ligninas: métodos de obtenção e caracterização química**. *Ciência rural*, v. 31, p. 917-928, 2001. Disponível em:

<https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000500031>. Acesso em 25 mar. 2023.

SAMISTRARO, Gisely. **Propriedades químicas e físicas da polpa e papel Kraft por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)**. 2013. Disponível em:

<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/16955>. Acesso em 25 mar. 2023.

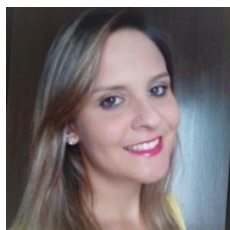
SILVA, Renan Freitas. **Conversão enzimática de resíduos derivados do processamento do pinus elliotti para obtenção de bioetanol**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

TRUGILHO, Paulo Fernando. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de Eucalyptus. **Ciência e Agro tecnologia**, v. 33, p. 1228-1239, 2009.

Sobre os Autores

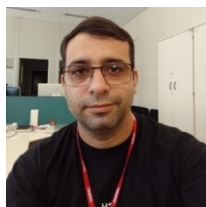
ⁱ Beatriz Valera Capitina



Graduada em Química Industrial pelas Faculdades Oswaldo Cruz (2011) e Pós-graduação em Gerenciamento de Projetos pela *Business School* São Paulo (2018). Tem experiência na área de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Saneantes e Cosméticos. Atualmente, trabalha na empresa *Diversey Brasil Industria Química* como Cientista Sênior de Pesquisa e Desenvolvimento sendo responsável pelo desenvolvimento de novos produtos e gerenciamento de portfólio nos segmentos de *Infection Prevention, Personal Care e Fabric Care*.

<https://orcid.org/0009-0002-5973-7405>

ii **Cristian Luiz da Silva**



Possui graduação de Bacharel em Química pela Universidade de Mogi das Cruzes (2012) e Pós-graduação em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário Internacional (UNINTER) (2013). Tem experiência nos processos de produção e controle de qualidade de celulose e papel. Atualmente, trabalha no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) como instrutor de formação profissional no curso técnico de celulose e papel na cidade de São Paulo.

<https://orcid.org/0009-0001-1663-7132>

iii **Danilo Silva do Nascimento**



Possui graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade de Santo Amaro (2021). Tem experiência em processos de produção de aditivos para tintas à base d'água, solvente, plásticos e compósitos. Atualmente, trabalha na *Polystell* do Brasil Ltda como técnico químico de pesquisa pleno com foco em produtos inovadores de nano tecnologia.

<https://orcid.org/0009-0003-4768-3478>

iv **Thiago de Carvalho Cipriano**



Químico, Mestre e Doutor em Nanociência e Materiais Avançados pela UFABC. Síntese e nanoestruturação de materiais orgânicos para dispositivos como OFET, OLED e biossensores. Técnicas espectroscópicas, microscopia ótica e eletrônica, difração de raios -X, XPS, construção de filmes finos (*layer-by-layer*, *Spin coating*, CVD). Pós-doutorado no IQ/USP em novos materiais para supercapacitores e dispositivos de armazenamento de energia e no CTI Renato Archer em novos materiais para células fotovoltaicas de 3a geração com *perovskitas*. Atualmente é especialista em tecnologia/pesquisador no Instituto Senai de Inovação em Materiais Avançados. <https://orcid.org/0000-0003-2742-7816>