

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 06/10/2025.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José do Rio Preto



Izabela Karolina Costa Zilli

**Cultivo e avaliação da degradação de lignina por *Pycnoporus sanguineus* e *Phlebia* sp. e
caracterização de lacases para descoloração de corantes sintéticos**

São José do Rio Preto

2023

Izabela Karolina Costa Zilli

Cultivo e avaliação da degradação de lignina por *Pycnoporus sanguineus* e *Phlebia* sp. e caracterização de lacases para descoloração de corantes sintéticos

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em microbiologia, junto ao Programa de Pós-Graduação em Microbiologia, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto

Financiadora: CAPES

Orientador:

Prof. Dr. Gustavo Orlando Bonilla Rodriguez

Co-orientadora:

Prof^a Dr^a Eleni Gomes

São José do Rio Preto

2023

Z69c

Zilli, Izabela Karolina Costa

Cultivo e avaliação da degradação de lignina por *Pycnoporus sanguineus* e *Phlebia* sp. e caracterização de lacases para descoloração de corantes sintéticos / Izabela Karolina Costa Zilli. -- São José do Rio Preto, 2023

96 f. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientador: Gustavo Orlando Bonilla Rodriguez

Coorientadora: Eleni Gomes

1. Lignina. 2. Lacases. 3. Corantes. 4. *Pycnoporus sanguineus*. 5. *Phlebia* sp.. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Izabela Karolina Costa Zilli

Cultivo e avaliação da degradação de lignina por *Pycnoporus sanguineus* e *Phlebia* sp. e caracterização de lacases para descoloração de corantes sintéticos

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em microbiologia, junto ao Programa de Pós-Graduação em Microbiologia, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Gustavo Orlando Bonilla Rodriguez
UNESP – Câmpus de São José do Rio Preto
Orientador

Dr. Gabriel Zazeri
UNICAMP

Dr^a. Natália Sarmanho Monteiro Lima
UNESP – Câmpus de Jaboticabal

São José do Rio Preto
06 de outubro de 2023

Dedico este trabalho ao meu grande amigo Guilherme de P. Pretto que diariamente me fez companhia e me proporcionou as melhores risadas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço profundamente ao meu orientador Prof. Dr. Gustavo Orlando Bonilla Rodriguez, que se manteve presente em todas as etapas deste projeto, me auxiliando de todas maneiras possíveis.

Agradeço também a Profa. Dra. Eleni Gomes, minha coorientadora, por disponibilizar o laboratório de Bioquímica e Microbiologia Aplicada e seus equipamentos para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha família sou imensamente grata a todos por todo o apoio e suporte emocional que me permitiram continuar na carreira acadêmica, mesmo com todos desafios a serem percorridos.

Aos meus amigos agradeço por tornarem essa jornada mais leve e proveitosa, me lembrando que a vida não se resume em um currículo. Aos meus grandes amigos Guilherme Pretto, Layse Arian e Vitória Hidemi, toda minha gratidão pelos momentos vividos, sem vocês esta experiência não teria sido a mesma.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Por fim, agradeço a todos professores e funcionários do Ibilce que de algum modo colaboraram para a minha formação como profissional.

“A obrigação de suportar nos dá o direito de saber”

Jean Rostand (1894-1977)

RESUMO

Com a necessidade de reduzir a emissão global de gases responsáveis pelo efeito estufa, é esperado que o desenvolvimento de novas metodologias para a produção de energia e de substâncias químicas produzidas a partir de fontes renováveis, como a biomassa, se torne cada vez maior. Sendo a lignina um material recalcitrante, e procurando alternativas sustentáveis e que diminuam o impacto ao meio ambiente, este projeto teve por objetivo cultivar dois isolados de fungos filamentosos: *Phlebia* sp. e *Pycnoporus sanguineus* em fermentação submersa e semissólida, em licor proveniente da hidrólise alcalina do bagaço de cana-de-açúcar e farelo de trigo, respectivamente, a fim de obter extratos enzimáticos ricos em lacases, para então avaliarmos a sua capacidade de degradar a lignina, além de selecionar e purificar a lacase proveniente da espécie com sua maior produção, caracterizando-a quanto aos seus parâmetros cinéticos e de termoestabilidade para posteriormente testar sua eficiência na degradação dos corantes azul de bromofenol, Brilliant Blue G e R-250, verde malaquita e vermelho congo. Os resultados obtidos demonstram que ambas as espécies foram capazes de crescer nas duas condições de fermentação, onde *P. sanguineus* se destacou pela maior produção de lacases e degradação da lignina. Ambas as isoformas purificadas (LacI e LacII) apresentaram valores de pH ótimo de 4,0 para os substratos ABTS e Guaiacol, com temperaturas ótimas similares de 50°C. LacI manteve 50% de sua atividade relativa após 60 minutos incubada a 60°C, sendo a atividade relativa da LacII de 29,6% em mesmas condições. A solução contendo as duas isoformas apresentou idênticas condições de pH ótimo com temperatura ótima de 40°C, mantendo sua atividade relativa de 19% após incubação em 60°C por 60 minutos, esta também demonstrou valores similares de K_m para os substratos ABTS e Guaiacol (0,55 e 0,60 Mm, respectivamente). LacI apresentou para ABTS valores de K_m 0,94 e LacII 0,17 mM. Diferentemente do esperado, em ambas isoformas concentrações acima de 10 mM de guaiacol apresentaram um efeito inibitório nas mesmas. As lacases aqui estudadas apresentaram somente um pico de absorção próximo de 280nm, diferenciando-se das lacases azuis. LacI se demonstrou a mais eficaz entre as isoformas para a degradação dos corantes sintéticos, em especial Azul de Bromofenol, verde malaquita e vermelho congo.

Palavras-chave: Lignina. Lacases. Corantes. *Pycnoporus sanguineus*. *Phlebia* sp.

ABSTRACT

With the need to reduce global emissions of greenhouse gases, it is expected that the development of new methodologies for energy production and the production of chemicals from renewable sources, such as biomass, will become increasingly important. Since lignin is a recalcitrant material, and in search of sustainable alternatives that reduce environmental impact, this project aimed to cultivate two isolates of filamentous fungi, *Phlebia* sp. and *Pycnoporus sanguineus*, in submerged and semi-solid fermentation, using liquor derived from the alkaline hydrolysis of sugarcane bagasse and wheat bran, respectively, in order to obtain enzyme-rich laccase extracts. Subsequently, we evaluated their ability to degrade lignin, selected and purified the laccase from the species with the highest production, characterizing it in terms of its kinetic and thermostability parameters, and then tested its efficiency in degrading the dyes bromophenol blue, Brilliant Blue G and R-250, malachite green, and congo red. The results obtained demonstrate that both species were able to grow under both fermentation conditions, with *P. sanguineus* standing out for its higher production of laccases and lignin degradation. Both purified isoforms (LacI and LacII) showed optimal pH values of 4.0 for the substrates ABTS and Guaiacol, with similar optimal temperatures of 50°C. LacI maintained 50% of its relative activity after 60 minutes of incubation at 60°C, while the relative activity of LacII was 29.6% under the same conditions. The solution containing both isoforms had identical optimal pH conditions with an optimal temperature of 40°C, maintaining its relative activity at 19% after incubation at 60°C for 60 minutes. It also showed similar Km values for the substrates ABTS and Guaiacol (0.55 and 0.60 mM, respectively). LacI had Km values of 0.94 for ABTS, and LacII had Km values of 0.17 mM. Contrary to expectations, both isoforms showed inhibitory effects at concentrations above 10 mM of guaiacol. The laccases studied here exhibited only one absorption peak near 280nm, distinguishing them from blue laccases. LacI proved to be the most effective among the isoforms for degrading synthetic dyes, especially bromophenol blue, malachite green, and congo red.

Keywords: Lignin. Laccase. Synthetic Dyes. *Pycnoporus sanguineus*. *Phlebia* sp.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura da parede celular vegetal.	18
Figura 2. Fragmento de lignina indicando suas ligações β -O-4 e 5-5.	19
Figura 3. Mecanismo redox da lacase (SH: substrato reduzido; S: substrato oxidado)	23
Figura 4. Mecanismo lacase-mediador.	24
Figura 5. Aspecto das culturas após 21 dias de inóculo (à esquerda <i>Phlebia</i> sp.; à direita <i>P. sanguineus</i>).	33
Figura 6. Formação do pellet com intensa pigmentação do sobrenadante. (à esquerda pellet formado logo após o armazenamento do extrato bruto extraído da fermentação; à direita pellet formado após processo de Salting-out, com seu sobrenadante mantendo coloração intensa).	34
Figura 7. Atividade enzimática de <i>P. sanguineus</i> ao longo dos 20 dias de fermentação.	43
Figura 8. Atividade enzimática de <i>Phlebia</i> sp. ao longo dos 20 dias de fermentação.	44
Figura 9. pH ótimo da lacase produzida por <i>P. sanguineus</i>	45
Figura 10. Atividade enzimática em função aos dias e valores de pH.	46
Figura 11. pH ótimo da lacase produzida por <i>Phlebia</i> sp.	47
Figura 12. Espectros de absorção na faixa de 200 – 400 nm do Controle abiótico.	49
Figura 13. Espectros de absorção na faixa de 200 – 400 nm de <i>P. sanguineus</i>	49
Figura 14. Espectros de absorção na faixa de 200 – 400 nm de <i>Phlebia</i> sp.	50
Figura 15. Absorbância a 540 nm ao longo dos dias para as duas espécies fúngicas.	52
Figura 16. Perfil cromatográfico da filtração em gel. A linha azul representa o perfil de proteínas medido em 280 nm, a linha vermelha a condutividade, e a preta a atividade de lacase. No eixo x superior são representadas as frações coletadas.	53
Figura 17. Primeiro perfil cromatográfico obtido pela cromatografia de Troca iônica. A linha azul representa o perfil de proteínas medido em 280 nm, a linha vermelha a atividade de lacase, a verde o gradiente entre os tampões inicial e final e a marrom a condutividade. No eixo x são representadas as frações coletadas.	54
Figura 18. Zimograma corado com ABTS. I) Extrato Bruto com apenas uma banda; II) Fração coletada da cromatografia de troca iônica; III) Extrato bruto de <i>P. sanguineus</i> com duas bandas aparentes.	55
Figura 19. Perfil de atividade de lacase I) Filtração em gel; II) Troca iônica.	56
Figura 20. Perfil cromatográfico Troca Iônica com concentração inicial de 30%. A linha azul escura representa o perfil de proteínas medido em 280 nm, a linha azul clara a atividade enzimática, a marrom a condutividade e a cinza clara o gradiente. No eixo x são representadas as frações coletadas.	57
Figura 21. Zimograma corado com ABTS/Guaiacol. I) 20° Fração eluída; II) 23° Fração eluída; III) 33°; IV) 36; V) 40° Frações eluídas.	58
Figura 22. Eletroforese SDS-PAGE (1: Marcador; 2: Extrato bruto; 3: Fração da gel filtração; 4: Albumina sérica bovina – 66Kda; M: solução com ambas isoformas; L1: Lac1; L2: Lac2).	58
Figura 23. pH ótimo em diferentes substratos ABTS (à esquerda) e Guaiacol (à direita) para a solução contendo as duas isoformas.	61
Figura 24. pH ótimo em diferentes substratos ABTS (à esquerda) e Guaiacol (à direita) para LacI.	62

Figura 25. pH ótimo em diferentes substratos ABTS (à esquerda) e Guaiacol (à direita) para LacII.....	62
Figura 26. Temperatura ótima da LacI.	64
Figura 27. Temperatura ótima da LacII.....	65
Figura 28. Temperatura ótima solução com isoformas diluídas.....	65
Figura 29. Estabilidade térmica solução contendo as duas isoformas diluídas.	67
Figura 30. Estabilidade térmica da LacI.....	68
Figura 31. Estabilidade térmica da LacII.	69
Figura 32. I. Cinética da solução com ambas as isoformas diluídas (à esquerda: ABTS; à direita: Guaiacol). II. Cinética das isoformas em ABTS (à esquerda: LacI; à direita: LacII).	71
Figura 33. Inibição da atividade enzimática de LacI por guaiacol.....	72
Figura 34. Inibição da atividade enzimática de LacII por guaiacol.	73
Figura 35. Absorbância das lacases estudadas (I. Solução contendo ambas isoformas; II. LacI; III; LacII).	75
Figura 36. Degradação de corantes sintéticos pelo extrato bruto de <i>P. sanguineus</i> após 24 horas em pH 4,0 e temperatura ambiente. (BB: Azul de Bromofenol; VM: Verde Malaquita; VC: Vermelho Congo; BG: Brilliant Blue G).....	78
Figura 37. Degradação de corantes sintéticos por LacI e II em pH 4 (BB: Azul de Bromofenol; VM: Verde Malaquita; VC: Vermelho Congo; BG: Brilliant Blue G; BR: Brilliant Blue R-250) após 24 e 48 horas.	79
Figura 38. Degradação de corantes sintéticos por LacI e II em pH 3 (BB: Azul de Bromofenol; VM: Verde Malaquita; BG: Brilliant Blue G; BR: Brilliant Blue R-250) após 24 e 48 horas.	80
Figura 39. Degradação de corantes sintéticos por LacI e II em pH 5,5 (BB: Azul de Bromofenol; VM: Verde Malaquita; VC: Vermelho Congo; BG: Brilliant Blue G; BR: Brilliant Blue R-250) após 24 e 48 horas.	81
Figura 40. Varredura licor pH 4 (I. 30 minutos; II. 60 minutos; III. 24 horas).....	82
Figura 41. Varredura licor pH 5,5 (I. 30 minutos; II. 60 minutos; III. 24 horas).....	83
Figura 42. Varredura licor pH 7 (I. 30 minutos; II. 60 minutos; III. 24 horas).....	84

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1. Composição do gel nativo.....	40
Tabela 2. Medidas do pH do meio de cultura ao longo da fermentação.	48
Tabela 3. Tabela de Purificação.....	60
Quadro 1. Espécies isoladas pela Dra. Solange X. dos Santos, capazes de produzir Lacase.	29
Quadro 2. Compostos utilizados na preparação do meio de cultura.	31

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	15
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. Lignina	17
2.2. Degradação da lignina	20
2.3. Descoloração de corantes sintéticos	24
2.4. Fungos lignocelulolíticos	26
3.OBJETIVOS	28
4.METODOLOGIA.....	29
4.1. Isolamento dos microrganismos.....	29
4.2. Pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar	30
4.2.1. Padronização do bagaço de cana-de-açúcar	30
4.2.2. Hidrólise alcalina.....	30
4.3. Cultivo e inóculo dos microrganismos.....	31
4.4. Avaliação da degradação da lignina	32
4.5. Determinação de açúcares redutores no meio de fermentação	32
4.6. Fermentação semi-sólida	32
4.7. Purificação das lacases.....	33
4.8. Ensaio enzimáticos.....	35
4.9. Ensaio enzimáticos em tubos de ensaio.....	36
4.10. Ensaio enzimáticos em microplacas	37
4.11. Determinação do pH ótimo.....	37
4.12. Determinação da temperatura ótima	37
4.13. Parâmetros cinéticos	37
4.14. Estabilidade térmica	38
4.15. Análises eletroforéticas	39
4.15.1. SDS-PAGE.....	39
4.15.2. Zimograma	39

4.16. Quantificação de proteínas totais.....	40
4.17. Espectrofotometria das lacases	40
4.18. Análise da degradação de corantes sintéticos	41
4.19. Degradação do licor	42
4.20. Análise dos dados coletados.....	42
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
☐ Fermentação submersa em estado líquido em licor.....	43
5.1. Perfil enzimático da fermentação submersa em estado líquido	43
5.2. pH ótimo das Lacases produzidas em fermentação submersa em estado líquido	44
5.3. Avaliação da degradação da lignina	48
5.4. Determinação dos açúcares redutores do meio.....	51
☐ Purificação e caracterização enzimática de isoformas obtidas por fermentação semi-sólida de <i>Pycnoporus sanguineus</i> e sua aplicação na degradação de corantes.....	53
5.5. Purificação	53
5.6. Determinação do pH ótimo.....	61
5.7. Temperatura ótima e termoestabilidade	63
5.8. Parâmetros Cinéticos	70
5.9. Propriedades espectrofotométricas das lacases	73
5.10. Análise da degradação de corantes sintéticos	77
5.11. Degradação do licor	82
6.CONCLUSÕES.....	85
REFERÊNCIAS.....	86

1.INTRODUÇÃO

É estimado que em 80% da base do crescimento econômico moderno a energia seja proveniente de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural. A extração, processamento, transporte e seu uso final possuem diversos impactos negativos no meio ambiente, tais como derramamentos e a poluição atmosférica, contribuindo com a liberação de gases responsáveis pelo efeito estufa (BARBIR; VEZIROĞLU; PLASS, 1990; ARMAROLI; BALZANI, 2011). Estas atividades também impactam negativamente a economia mundial, onde temos registrado que a poluição atmosférica causada pela queima de combustíveis não renováveis é responsável pela perda de 8 bilhões de dólares por dia e 2.9 trilhões de dólares por ano, representando 3,3% do PIB global (FARROW; MILLER; MYLLYVIRTA, 2020).

Devido à diminuição do interesse por recursos fósseis não renováveis como matéria prima para a síntese de produtos de alto valor agregado e a necessidade de reduzir a emissão global de gases responsáveis pelo efeito estufa, é esperado que a produção de energia e de substâncias químicas geradas a partir de fontes renováveis, como a biomassa, dentro do conceito de biorrefinarias, aumente em um futuro próximo (ZAKZESKI, 2010; BUGG; RAHMANPOUR, 2015; DEVI et. al., 2022).

Em virtude da sua abundância e renovabilidade, a biomassa lignocelulósica pode ser utilizada de forma eficiente para o desenvolvimento sustentável, sendo considerada uma fonte alternativa para a produção de artigos de alto valor comercial. Contudo, a sua característica recalcitrante, proveniente da lignina, dificulta a utilização da biomassa como matéria-prima para a síntese de compostos químicos e biocombustíveis (KAMIMURA et al., 2019; ABDEL-HAMID; SOLBIATI; CANN, 2013).

Segundo dados publicados pela Companhia Nacional de Abastecimento, estima-se que na safra de 2021/2022 sejam colhidas 568,4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, sendo a região sudeste, principal produtora de cana-de-açúcar no país, responsável pela colheita de 63%

do total (CONAB, 2021). Com tamanha produção, o bagaço de cana-de-açúcar é um dos principais subprodutos lignocelulósicos produzidos em nosso país (MOREIRA, 2013), sendo este material uma ótima matéria-prima pelo fato de um terço da energia da cana-de-açúcar estar contida no seu bagaço (GOLDEMBERG, 2011).

Com isso, se fazem necessários estudos que utilizem estes resíduos agroindustriais de modo que estes sejam aproveitados da forma mais eficiente possível. As aplicações práticas de microrganismos produtores de enzimas capazes de degradar não somente a biomassa lignocelulósica, mas também remediar substâncias tóxicas ou indesejáveis no ambiente se torna imprescindível para o avanço biotecnológico. Dentre estas substâncias temos os corantes, que são amplamente utilizados nas mais diversas indústrias, com aproximadamente mais de 10.000 tipos de corantes e pigmentos sendo fabricados mundialmente, com mais de 7×10^5 toneladas sendo produzidas anualmente (BANAT et al., 1996; MEYER, 1981; IRACHETA-CÁRDENAS et al., 2016; ZOLLINGER, 1987).

Sendo a cor ser o primeiro contaminante a ser identificado em águas residuais, afetando não somente o aspecto estético, mas também a transparência e solubilidade de gases nos corpos de água, a remoção destes tende a ser priorizada em detrimento das substâncias orgânicas solúveis e incolores, sendo muitos destes corantes contaminantes conhecidos por serem sintetizados a partir de carcinogênicos, como a benzidina e outros compostos aromáticos (BANAT et al., 1996; DONG et al., 2003; AYED et al., 2011). O tratamento destas águas residuais contaminadas com corantes são convencionalmente processos físico-químicos, contudo, já são descritos por estes processos problemas de efluentes secundários (SLOKAR, MARECHAL, 1998; DONG et al., 2003).

Desta forma, o uso de microrganismos e seus derivados para degradar contaminantes e poluentes dentro do conceito de biorremediação, garante uma degradação mais eficiente e específica destes poluentes a partir da grande diversidade genética deste grupo, resultando em

uma alternativa promissora para complementar ou até mesmo substituir os processos até então descritos para a remoção de corantes (DONG et al., 2003).

Com isso, este estudo tem como objetivo principal o cultivo das espécies *Pycnoporus sanguineus* e *Phlebia* sp. em diferentes meios de fermentação para a obtenção de extratos ricos em lacase, para assim selecionar a espécie com maior atividade e dar sequência à sua purificação, caracterização e aplicação na descoloração de corantes sintéticos. Tendo em vista que a purificação e o estudo das características bioquímicas destas proteínas servem como um meio de avaliar se estas são aptas a serem utilizadas em processos biotecnológicos, visto que estes processos necessitam de enzimas resistentes a fatores como pH e temperatura. Características essas que já foram descritas nas últimas décadas por lacases produzidas pelo gênero *Pycnoporus*, que além de produzirem lacases com um alto potencial redox, também apresentam um nível de estabilidade térmica e de pH (UZAN et al., 2010; WANG et al., 2010; TROVASLET et al., 2007; RAMÍREZ-CAVAZOS, 2014). Portanto podemos ressaltar a importância de caracterizar estas enzimas, visto que diferentes espécies dentro de um mesmo gênero podem produzir enzimas com diferentes características, que podem torná-las mais ou menos apropriadas para diferentes processos industriais.

6.CONCLUSÕES

A partir dos resultados alcançados, podemos concluir que o bagaço de cana-de-açúcar pode representar uma alternativa sustentável para o crescimento e produção enzimática dos fungos filamentosos aqui estudados. O licor extraído através da hidrólise alcalina deste resíduo agroindustrial se mostra um substrato promissor, mesmo sendo muito complexo e de difícil degradação. O emprego destes resíduos agroindustriais é uma alternativa para o desenvolvimento sustentável de bioprodutos e reaproveitamento desta biomassa lignocelulósica que por muitas vezes é queimada para a produção de energia.

O farelo de trigo também apresentou grande potencial a produção de lacases a partir do crescimento das espécies aqui estudadas, principalmente para *P. sanguineus*. Embora *Phlebia* sp. também tenha demonstrado crescimento miceliar ao final da fermentação, este apresentou pouca atividade para lacases, indicando que outras enzimas possam estar sendo produzidas pelo seu arcabouço enzimático, como manganês peroxidase e/ou lignina peroxidase.

A purificação das lacases de *P. sanguineus* se mostrou eficaz em especial para LacI, que apresentou maior nível de rendimento entre as isoformas. Contudo, a purificação sem a separação das isoformas também se mostrou uma alternativa mais rápida e menos trabalhosa se obter uma lacase funcional e com características interessantes do ponto de vista biotecnológico.

Da mesma forma, a aplicação das isoformas na degradação de corantes sintéticos também se mostrou eficiente para este fim, em especial a sua descoloração dos corantes Azul de Bromofenol e Verde malaquita, com valores consideráveis para Vermelho congo, sendo a LacI a mais eficaz para este procedimento.

Por fim, podemos inferir que, das duas espécies estudadas, *P. sanguineus* se mostrou um grande produtor de lacases com potencial para aplicações em processos biotecnológicos.

REFERÊNCIAS

- ABD EL MONSSEF, R. A.; HASSAN, E. A.; RAMADAN, E. M. Production of laccase enzyme for their potential application to decolorize fungal pigments on aging paper and parchment. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 61, n. 1, p. 145-154, 2016.
- ABDEL-HAMID, A. M.; SOLBIATI, J. O.; CANN, I. K. O. Insights into lignin degradation and its potential industrial applications. In: **Advances in applied microbiology**. Academic Press, p. 1-28, 2013.
- ACHYUTHAN, K. E. et al. Supramolecular Self-Assembled Chaos: Polyphenolic Lignin's Barrier to Cost-Effective Lignocellulosic Biofuels. **Molecules**, v. 15, n. 12, p. 8641–8688, 29 nov. 2010.
- ALI, H. Biodegradation of synthetic dyes—a review. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 213, p. 251-273, 2010.
- ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. Principles of green chemistry. **Green chemistry: Theory and practice**, v. 29, p. 14821-42, 1998.
- ANDERSON, E. M.; STONE, M. L.; KATAHIRA, R.; REED, M.; MUCHERO, W.; RAMIREZ, K. J.; BECKHAM, G. T.; ROMÁN-LESHKOV, Y. **Differences in S/G ratio in 14 natural poplar variants do not predict catalytic depolymerization monomer yields**. Nature communications, v.10, 2019.
- ARDILA-LEAL, L. D. et al. A brief history of colour, the environmental impact of synthetic dyes and removal by using laccases. **Molecules**, v. 26, n. 13, p. 3813, 2021.
- ARMAROLI, N.; BALZANI, V. The legacy of fossil fuels. **Chemistry—An Asian Journal**, v. 6, n. 3, p. 768-784, 2011.
- ARORA, D. S.; RAMPAL, P. Laccase production by some *Phlebia* species. **Journal of Basic Microbiology: An International Journal on Biochemistry, Physiology, Genetics, Morphology, and Ecology of Microorganisms**, v. 42, n. 5, p. 295-301, 2002.
- AYED, L. et al. Decolorization and degradation of azo dye Methyl Red by an isolated *Sphingomonas paucimobilis*: biotoxicity and metabolites characterization. *Desalination*, v. 274, n. 1-3, p. 272-277, 2011.
- BALDRIAN, P. Fungal laccases—occurrence and properties. **FEMS microbiology reviews**, v. 30, n. 2, p. 215-242, 2006.
- BANAT, I. M. et al. Microbial decolorization of textile-dyecontaining effluents: a review. *Bioresource technology*, v. 58, n. 3, p. 217-227, 1996.

BARBIR, F.; VEZIROĞLU, T. N.; PLASS JR, H. J. Environmental damage due to fossil fuels use. **International journal of hydrogen energy**, v. 15, n. 10, p. 739-749, 1990.

BASTOS, V. D. Etanol, álcoolquímica e biorrefinaria. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5-38, mar. 2007.

BLACKWELL, M. The Fungi: 1, 2, 3... 5.1 million species?. *American journal of botany*, v. 98, n. 3, p. 426-438, 2011.

BOLLAG, J.; LEONOWICZ, A. Comparative studies of extracellular fungal laccases. **Applied and environmental microbiology**, v. 48, n. 4, p. 849-854, 1984.

BUGG, T. D .H.; RAHMANPOUR, R. Enzymatic conversion of lignin into renewable chemicals. **Current opinion in chemical biology**, v. 29, p. 10-17, 2015.

BUGG, T. D. H. et al. Pathways for degradation of lignin in bacteria and fungi. **Natural product reports**, v. 28, n. 12, p. 1883-1896, 2011.

CARLILE, M. J., WATKINSON, S. C. *The Fungi* academic press, 3º edição, p.87, 251-252, 264-266, 269-274, 1996.

CASTILLEJOS MÁRQUEZ, S. et al. Producción de lacasa a partir de hongos ligninolíticos utilizando vinazas y bagaso de origen mezcalero. **REPOSITORIO NACIONAL CONACYT**, 2015.

CEN, Q. et al. Green production of a yellow laccase by *Corioloropsis gallica* for phenolic pollutants removal. **AMB Express**, v. 12, n. 1, p. 96, 2022.

CHAUURASIA, P. K.; BHARATI, S. L.; SINGH, S. K. Comparative studies on the blue and yellow laccases. **Res Plant Sci**, v. 1, n. 2, p. 32-7, 2013.

CHOUDHURY, A. K. R. Introduction to enzymes. In: **Sustainable technologies for fashion and textiles**. Woodhead Publishing, 2020. p. 75-90.

CHUI, M.; METZKER, G.; BERNT, C. M.; TRAN, A. T.; BURTOLOSO, A. C. B.; FORD, P. C. **Probing the Lignin Disassembly Pathways with Modified Catalysts Based on Cu-Doped Porous Metal Oxides**. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, v.5, p. 3158 – 3169, 2017.

CONAB - Geadas e estiagem impactam a produção de cana-de-açúcar e derivados no país. **Conab Companhia Nacional de Abastecimento**, 2021. Disponível em <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4377-geadas-e-estiagem-impactam-a-producao-de-cana-de-acucar-e-derivados-no-pais> Acesso em: 10, fev. 2022.

COOKE, Wm Bridge. The genus *Phlebia*. **Mycologia**, v. 48, n. 3, p. 386-405, 1956.

COUTO, S. R. Dye removal by immobilised fungi. **Biotechnology advances**, v. 27, n. 3, p. 227-235, 2009.

CURTIS, R. A. et al. Protein-protein interactions in concentrated electrolyte solutions. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 79, n. 4, p. 367–380, 20 ago. 2002.

DANIEL, D. E. **Biodegradação anaeróbia de compostos derivados de lignina e xenobióticos**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade da Beira Interior (Portugal).

DELLAMATRICE, P. M. et al. Decolourization of municipal effluent and sludge by *Pleurotus sajor-caju* and *Pleurotus ostreatus*. **World journal of microbiology and Biotechnology**, v. 21, p. 1363-1369, 2005.

DEVI, A., BAJAR, S., KOUR, H. et al. Lignocellulosic Biomass Valorization for Bioethanol Production: a Circular Bioeconomy Approach. *Bioenerg. Res.* (2022).

DONG, X.; ZHOU, J.; LIU, Y. Peptone-induced biodecolorization of reactive brilliant blue (KN-R) by *Rhodocyclus gelatinosus* XL-1. *Process Biochemistry*, v. 39, n. 1, p. 89-94, 2003.

DOS SANTOS, M. B. C.; SCARPASSA, J. A.; MONTEIRO, D. A.; LADINO-ORJUELA, G.; DA SILVA, R.; BOSCOLO, M.; GOMES, E. Evaluation of the tolerance and biotransformation of ferulic acid by *Klebsiella pneumoniae* TD 4.7. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.52, n.3, p.1181-1190, 2021.

DUONG-LY, K. C.; GABELLI, S. B. Salting out of proteins using ammonium sulfate precipitation. In: **Methods in enzymology**. Academic Press, 2014. p. 85-94.

EISENTHAL, R.; DANSON, M. J. (Ed.). *Enzyme assays: a practical approach*. Practical Approach (Paperback), 2002

FABBRINI, M.; GALLI, C.; GENTILI, P. **Comparing the catalytic efficiency of some mediators of laccase**: *Journal Of Molecular Catalysis B: Enzymatic*. 16: 231-240 p. 2002.

FARINAS, C. S. A parede celular vegetal e as enzimas envolvidas na sua degradação. **Embrapa Instrumentação-Documentos (INFOTECA-E)**, 2011.

FARROW, A.; MILLER, K.A.; MYLLYVIRTA, L. **Toxic air: The price of fossil fuels**. Greenpeace Southeast Asia, p.44, 2020.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1989.

FERNANDES, C.; LALITHA, V. S.; RAO, K. V. K. Enhancing effect of malachite green on the development of hepatic pre-neoplastic lesions induced by N-nitrosodiethylamine in rats. **Carcinogenesis**, v. 12, n. 5, p. 839-845, 1991.

FERNANDES, I.B.R. et al. As enzimas negligenciadas associadas a degradação da lignina em fungos. 2020.

FOROOTANFAR, H. et al. Synthetic dye decolorization by three sources of fungal laccase. *Iranian journal of environmental health science & engineering*, v. 9, p. 1-10, 2012.

GARCIA, M. B. Culturas enriquecidas para degradação de lignina: diversidade microbiana e triagem de biblioteca metagenômica. Dissertação (Mestrado). Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2019.

GARCIA, T. A.; SANTIAGO, M. F.; ULHOA, C. J. Properties of laccases produced by *Pycnoporus sanguineus* induced by 2, 5-xylydine. **Biotechnology letters**, v. 28, n. 9, p. 633-636, 2006.

GARCIA, T. A.; SANTIAGO, Mariângela Fontes; ULHOA, Cirano José. Studies on the *Pycnoporus sanguineus* CCT-4518 laccase purified by hydrophobic interaction chromatography. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 75, p. 311-318, 2007.

GIARDINA, P. et al. Laccases: a never-ending story. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 67, n. 3, p. 369-385, 2010.

GILBERTSON, R.L.; RYVARDEN, L. North American Polypores, p. 1-885, 1987.

GIMENES, L. J.; ROBERTO, D. Fungos Basidiomicetos. **Apostila do Curso de Capitação de Monitores e Educadores**, 2010.

GODFREY, T.; REICHEL, J. R. Introduction to industrial Enzymology. 1983.

GOLDEMBERG, J. The Role of Biomass in the World's Energy System. In: BUCKERIDGE, M. S. e GOLDMAN, G. H. (Ed.). **Routes to Cellulosic Ethanol: Springer New York**, 2011. cap. 1, p.3-14.

GU, C. et al. Engineering the Expression and Characterization of Two Novel Laccase Isoenzymes from *Coprinus comatus* in *Pichia pastoris* by Fusing an Additional Ten Amino Acids Tag at N-Terminus. **PloS one**, v. 9, n. 4, p. e93912, 2014.

GUPTA, V. K. et al. Adsorption kinetics and column operations for the removal and recovery of malachite green from wastewater using bottom ash. **Separation and purification technology**, v. 40, n. 1, p. 87-96, 2004.

HARWOOD, C. S.; PARALES, R. E. The β -ketoadipate pathway and the biology of self-identity. **Annual review of microbiology**, v. 50, n. 1, p. 553-590, 1996.

HE, F. Bradford protein assay. **Bio-protocol**, p. e45-e45, 2011.

HENDERSON, A. L. et al. Reduction of malachite green to leucomalachite green by intestinal bacteria. **Applied and environmental microbiology**, v. 63, n. 10, p. 4099-4101, 1997.

HERNÁNDEZ-ORTEGA, A.; FERREIRA, P.; MARTÍNEZ, A. T. Fungal arylalcohol oxidase: A peroxide-producing flavoenzyme involved in lignin degradation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 93, n. 4, p. 1395–1410, 2012.

HILDÉN, K.; HAKALA, T. K.; LUNDELL, T. Thermotolerant and thermostable laccases. **Biotechnology letters**, v. 31, p. 1117-1128, 2009.

HU, X. et al. Influence of temperature, pH and metal ions on guaiacol oxidation of purified laccase from *Leptographium qinlingensis*. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 30, p. 1285-1290, 2014.

HUANG, D.; ZENG, G.; FENG, C.; HU, S.; LAI, C.; ZHAO, M.; SU, F.; TANG, L.; LIU, H. **Changes of microbial population structure related to lignin degradation during lignocelulosic waste composting**. *Bioresource Technology*, v. 101, p. 4062-4067, 2010.

IRACHETA-CÁRDENAS, M. M. et al. A *Pycnoporus sanguineus* laccase for denim bleaching and its comparison with an enzymatic commercial formulation. **Journal of environmental management**, v. 177, p. 93-100, 2016.

JAVAID, R.; SABIR, A.; SHEIKH, N.; FERHAN, M. **Recent Advances in Applications of Acidophilic Fungi to Produce Chemicals**. *Molecules*, v.24, p. 786, 2018.

KAMIMURA, N. et al. Advances in microbial lignin degradation and its applications. **Current opinion in biotechnology**, v. 56, p. 179-186, 2019.

KIRK, T. K.; CULLEN, D. Enzymology and molecular genetics of wood degradation by white-rot-fungi. *Environmentally Friendly Technologies for the Pulp and Paper Industry*, New York, p.273-308, 1998.

KOKKONEN, P. et al. Substrate inhibition by the blockage of product release and its control by tunnel engineering. **RSC chemical biology**, v. 2, n. 2, p. 645-655, 2021.

LEGERSKÁ, B.; CHMELOVÁ, D.; ONDREJOVIČ, M. Degradation of synthetic dyes by laccases—a mini-review. **Nova Biotechnol. Chim**, v. 15, n. 1, p. 90-106, 2016.

LELLIS, B. et al. Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. **Biotechnology Research and Innovation**, v. 3, n. 2, p. 275-290, 2019.

LEONTIEVSKY, A. et al. Yellow' laccase of *Panus tigrinus* oxidizes non-phenolic substrates without electron-transfer mediators. **FEBS letters**, v. 413, n. 3, p. 446-448, 1997.

LITTHAUER, D. et al. Purification and kinetics of a thermostable laccase from *Pycnoporus sanguineus* (SCC 108). **Enzyme and Microbial Technology**, v. 40, n. 4, p. 563-568, 2007.

LIU, W. et al. Biodecolorization of azo, anthraquinonic and triphenylmethane dyes by white-rot fungi and a laccase-secreting engineered strain. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 31, n. 3, p. 127-132, 2004.

LU, L. et al. Purification and characterization of laccase from *Pycnoporus sanguineus* and decolorization of an anthraquinone dye by the enzyme. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 74, p. 1232-1239, 2007.

MACIEL, G. M. et al. Fundamentals, diversity and application of white-rot fungi. Fungi: Types, Environmental Impact and Role in Disease. New York: Nova Science Publishers, v. 1, p. 1-52, 2012.

MÄKI-ARVELA, P.; SALMI, T.; HOLMBOM, B.; WILLFÖR, S.; MURZIN, D. Y. Synthesis of Sugars by Hydrolysis of Hemicelluloses- A Review. **Chemical Reviews**, v. 111, n. 9, p. 5638-5666, 2011.

MARTÍN, C.; KLINKE, H. B.; THOMSEN, A. B.. Wet oxidation as a pretreatment method for enhancing the enzymatic convertibility of sugarcane bagasse. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 40, n. 3, p. 426-432, 2007.

MARTINEZ, A. T. et al. Biodegradation of lignocellulosics : microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. **International Microbiology**, v. 8, p. 195–204, 2005.

MAYER, A. M.; STAPLES, R. C. Laccase: new functions for an old enzyme. **Phytochemistry**, v. 60, n. 6, p. 551-565, 2002.

MENEZES, C. B.; BONUGLI-SANTOS, R. C.; MIQUELETO, P. B.; PASSARINI, M. R.; SILVA, C. H.; JUSTO, M. R.; LEAL, R. R.; FANTINATTI-GARBOGGINI, F.; OLIVEIRA, V. M.; BERLINCK, R. G.; SETTE, L. D. Microbial diversity associated with algae, ascidians and sponges from the north coast of São Paulo state, Brazil. **Microbiol Res**, v. 165, n. 6, p. 466-482, 2010.

MESSERSCHMIDT, A. (Ed.). **Multi-copper oxidases**. World Scientific, 1997.

MEYER, U. Biodegradation of synthetic organic colorants. **Microbial degradation of xenobiotics and recalcitrant compounds**, p. 371-385, 1981.

MOOD, S. H. et al. Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 77-93, 2013.

MOREIRA, L. R. D. S. **Xilanases produzidas por *Aspergillus terreus***: Caracterização, degradação de biomassa lignocelulósica e efeito de compostos fenólicos. 2013. 272 p. Dissertação de Mestrado em Biologia Molecular, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

MURUGESAN, K. et al. Enhanced transformation of malachite green by laccase of *Ganoderma lucidum* in the presence of natural phenolic compounds. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 82, p. 341-350, 2009.

NASEEM, K. et al. Removal of Congo red dye from aqueous medium by its catalytic reduction using sodium borohydride in the presence of various inorganic nano-catalysts: a review. **Journal of cleaner production**, v. 187, p. 296-307, 2018.

NIKU-PAAVOLA, M. L. et al. Ligninolytic enzymes of the white-rot fungus *Phlebia radiata*. **Biochemical Journal**, v. 254, n. 3, p. 877-884, 1988.

NOBLES, M.K.; FREW, B.P. Studies in wood-inhabiting Hymenomycetes V. The genus *Pycnoporus* Karst. **Canadian Journal of Botany**, p. 987-1016, 1962.

NOZAKI, K. et al. Screening and investigation of dye decolorization activities of basidiomycetes. **Journal of bioscience and bioengineering**, v. 105, n. 1, p. 69-72, 2008.

ORLIKOWSKA, M. et al. Structural studies of two thermostable laccases from the white-rot fungus *Pycnoporus sanguineus*. **International journal of biological macromolecules**, v. 107, p. 1629-1640, 2018.

PANDEY, A.; SINGH, P.; IYENGAR, L. Bacterial decolorization and degradation of azo dyes. **International biodeterioration & biodegradation**, v. 59, n. 2, p. 73-84, 2007.

PAZ, A. et al. Biological treatment of model dyes and textile wastewaters. **Chemosphere**, v. 181, p. 168-177, 2017.

PEDROSO, D. D. **Enzimas oxidorredutases do fungo *Pestalotiopsis* sp.** 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PERALTA, R. M. et al. Enzymes from basidiomycetes—peculiar and efficient tools for biotechnology. In: *Biotechnology of microbial enzymes*. Academic Press, 2017.

PEREIRA, J. C. Estudo da produção de ligninases e celulasas pelo fungo *Pycnoporus sanguineus* MCA 16 e uso dos extratos enzimáticos na sacarificação do bagaço de cana-de-açúcar para produção de bioetanol, 2018.

PEREIRA, L. et al. Environmentally friendly bleaching of cotton using laccases. **Environmental Chemistry Letters**, v. 3, n. 2, p. 66-69, 2005.

PEREIRA, L.; ALVES, M. Dyes—environmental impact and remediation. **Environmental protection strategies for sustainable development**, p. 111-162, 2012.

PEZZELLA, C.; GUARINO, L.; PISCITELLI, A. How to enjoy laccases. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 72, n. 5, p. 923-940, 2015.

PINTO, F. F. Degradação de madeiras por fungos: aspectos biotecnológicos e de biorremediação. 2006.

PIONTEK, K.; ANTORINI, M.; CHOINOWSKI, T. Crystal structure of a laccase from the fungus *Trametes versicolor* at 1.90-Å resolution containing a full complement of coppers. **Journal of Biological Chemistry**, v. 277, n. 40, p. 37663-37669, 2002.

PLÁCIDO, J.; CAPAREDA, S. Ligninolytic enzymes: a biotechnological alternative for bioethanol production. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 2, n. 1, p. 1-12, 2015.

POINTING, S. B.; JONES, E. B. G.; VRIJMOED, L. L. P. Optimization of laccase production by *Pycnoporus sanguineus* in submerged liquid culture. **Mycologia**, v. 92, n. 1, p. 139-144, 2000.

POINTING, S. Bx; VRIJMOED, L. L. P. Decolorization of azo and triphenylmethane dyes by *Pycnoporus sanguineus* producing laccase as the sole phenoxidase. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 16, p. 317-318, 2000.

RAHMINI, A., AZARPIRA, A., KIM, H., RALPH, J., STAHL, S. S. **Chemoselective Metal-Free Aerobic Alcohol Oxidation in Lignin**. Journal of The American Chemical Society, v. 135, n. 17, p. 6415-6418, 2013.

RAMÍREZ-CAVAZOS, L. I. et al. Purification and characterization of two thermostable laccases from *Pycnoporus sanguineus* and potential role in degradation of endocrine disrupting chemicals. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 108, p. 32-42, 2014.

RHODES, D. G.; BOSSIO, R. E.; LAUE, T. M. Determination of size, molecular weight, and presence of subunits. **Methods Enzymol**, v. 463, p. 691-723, 2009.

RINALDI, R. et al. Paving the way for lignin valorization: recent advances in bioengineering, biorefining and catalysis. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 55, n. 29, p. 8164-8215, 2016.

RIVA, S. Laccases: blue enzymes for green chemistry. **TRENDS in Biotechnology**, v. 24, n. 5, p. 219-226, 2006.

RIVERA-HOYOS, C. M. et al. Fungal laccases. **Fungal Biology Reviews**, v. 27, n. 3-4, p. 67-82, 2013.

ROUTOULA, E.; PATWARDHAN, S. V. Degradation of anthraquinone dyes from effluents: a review focusing on enzymatic dye degradation with industrial potential. **Environmental science & technology**, v. 54, n. 2, p. 647-664, 2020.

RYVARDEN, L. et al. A preliminary polypore flora of East Africa. **A preliminary Polypore flora of East Africa.**, 1980.

SANTOS, S. X. Diversidade, isolamento em cultura e perfil enzimático de fungos decompositores de madeira da Estação Ecológica do Noroeste Paulista - São José do Rio Preto-Mirassol, SP. 222 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Instituto de Biociências (Campus de Rio Claro). Rio Claro. (98/10858-0), 2003.

SAQIB, A. A. N. et al. A thermostable crude endoglucanase produced by *Aspergillus fumigatus* in a novel solid state fermentation process using isolated free water. **Enzyme Research**, v. 2012, 2012.

SAQIB, A. A. N. et al. Thermostability of crude endoglucanase from *Aspergillus fumigatus* grown under solid state fermentation (SSF) and submerged fermentation (SmF). **Process Biochemistry**, v. 45, n. 5, p. 641–646, 2010.

SEE, Y. P.; JACKOWSKI, G. Estimating molecular weight of polypeptides by SDS gel electrophoresis. In: (Ed.). Protein Structure: A practical approach. Oxford: IRL Press, 1990. p.1-22.

SHARMA, D. et al. A novel laccase from newly isolated *Cotylidia pannosa* and its application in decolorization of synthetic dyes. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 4, n. 4, p. 661-666, 2015.

SIDDIQUI, K. S. et al. Thermostabilization of carboxymethylcellulase from *Aspergillus niger* by carboxyl group modification. **Biotechnology Letters**, v. 19, n. 4, p. 325–330, 1997.

SIDDIQUI, S. I. et al. Investigation of Congo Red Toxicity towards Different Living Organisms: A Review. **Processes**, v. 11, n. 3, p. 807, 2023.

SIGOILLOT, J-C. et al. Fungal strategies for lignin degradation. **Advances in botanical research**, v. 61, p. 263-308, 2012.

SINGH, D.; GUPTA, N. Microbial laccase: a robust enzyme and its industrial applications. **Biologia**, v. 75, p. 1183-1193, 2020.

SLOKAR, Y. M.; LE MARECHAL, A. M. Methods of decoloration of textile wastewaters. Dyes and pigments, v. 37, n. 4, p. 335-356, 1998.

SUWANNAWONG, P.; KHAMMUANG, S.; SARNTHIMA, R. Decolorization of rhodamine B and congo red by partial purified laccase from *Lentinus polychrous* Lév. **Journal of Biochemical Technology**, v. 2, n. 3, p. 182-186, 2010.

TAKADA, D.; EHARA, K.; SAKA, S. Gas chromatographic and mass spectrometric (GC-MS) analysis of lignina-derived products from *Cryptomeria japonica* treated in supercritical water. Journal of Wood Science, v.50, p. 253-259, 2004.

TORRES, E.; BUSTOS-JAIMES, I.; LE BORGNE, S. Potential use of oxidative enzymes for the detoxification of organic pollutants. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 46, n. 1, p. 1-15, 2003.

TROVASLET, M. et al. Potential of a *Pycnoporus sanguineus* laccase in bioremediation of wastewater and kinetic activation in the presence of an anthraquinonic acid dye. **Enzyme and microbial technology**, v. 41, n. 3, p. 368-376, 2007.

TZANOV, T. et al. Laccases to improve the whiteness in a conventional bleaching of cotton. **Macromolecular materials and engineering**, v. 288, n. 10, p. 807-810, 2003.

UZAN, Eva et al. High redox potential laccases from the ligninolytic fungi *Pycnoporus coccineus* and *Pycnoporus sanguineus* suitable for white biotechnology: from gene cloning to enzyme characterization and applications. **Journal of Applied Microbiology**, v. 108, n. 6, p. 2199-2213, 2010.

VAIDYA, A. A. Environmental pollution during chemical processing of synthetic fibers. **Colourage**, v. 14, p. 3-10, 1982.

VARGAS, J.; MORELATO, L. H. T.; ORTEGA, J. O.; BOSCOLO, M.; METZKER, G. **Upgrading 1-butanol to unsaturated, carbonyl and aromatic compounds: a new synthesis approach to produce important organic building blocks**. *Green Chemistry*, v.22, p. 2365-2369, 2020.

WANG, Z.-X. et al. Purification and characterization of two thermostable laccases with high cold adapted characteristics from *Pycnoporus* sp. SYBC-L1. **Process Biochemistry**, v. 45, n. 10, p. 1720-1729, 2010.

WIERZBICKI, M. P.; MALONEY, V.; MIZRACHI, E.; MYBURG, A. A. Xylan in the Middle: Understanding Xylan Biosynthesis and Its Metabolic Dependencies Toward Improving Wood Fiber for Industrial Processing. v. 10, n. 176, p., 2019.

WOOD, T. M.; BHAT, K. M. Methods for measuring cellulase activities. In: **Methods in Enzymology**. [s.l.] Elsevier, 1988. v. 160p. 87–112.

XU, F. Effects of redox potential and hydroxide inhibition on the pH activity profile of fungal laccases. **Journal of biological chemistry**, v. 272, n. 2, p. 924-928, 1997.

XU, Z.; LEI, P.; ZHAI, R.; WEN, Z.; JIN, M. **Recent advances in lignin valorization with bacterial cultures: microorganism, metabolic pathway, and bio-products**. *Biotechnology for Biofuels*, v.12, p. 19, 2019.

YANG, H. et al. Potential of acetylacetone as a mediator for *Trametes versicolor* laccase in enzymatic transformation of organic pollutants. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 10882-10889, 2015.

ZAKZESKI, J. et al. The catalytic valorization of lignin for the production of renewable chemicals. **Chemical reviews**, v. 110, n. 6, p. 3552-3599, 2010.

ZHUO, R. et al. Decolorization of different dyes by a newly isolated white-rot fungi strain *Ganoderma* sp. En3 and cloning and functional analysis of its laccase gene. **Journal of hazardous materials**, v. 192, n. 2, p. 855-873, 2011.

ZHUO, R. et al. The roles of *Pleurotus ostreatus* HAUCC 162 laccase isoenzymes in decolorization of synthetic dyes and the transformation pathways. **Chemosphere**, v. 234, p. 733-745, 2019.

ZIMBARDI, A. LRL et al. A high redox potential laccase from *Pycnoporus sanguineus* RP15: potential application for dye decolorization. **International journal of molecular sciences**, v. 17, n. 5, p. 672, 2016.

ZOLLINGER, H. Azo dyes and pigments. **Colour Chemistry-Synthesis, Properties and Applications of Organic Dyes and Pigments**, p. 92-100, 1987.

ZUCCA, P. et al. Fungal laccases as tools for biodegradation of industrial dyes. **Biocatalysis**, v. 1, n. 1, p. 82-108, 2016.