



Efluente da indústria de compensado: caracterização físico-química e seleção de fungo filamentososo para processo de biorremediação

Effluent from the wood-laminate industry: physical-chemical characterization and selection of filamentous fungus for bioremediation

Daiane Meneguzzi¹, Fernanda Maria Rosa², Weslei Domingos da Silva³, Mário Antônio Alves da Cunha⁴

RESUMO

No processo de cozimento de toras na indústria de laminados de madeira é gerado um efluente altamente poluidor e recalcitrante, o qual contém elevados conteúdos de fenólicos e carga orgânica. No presente trabalho o efluente industrial foi caracterizado quanto a diferentes parâmetros físico-químicos e fungos filamentosos foram isolados do ambiente e avaliados quanto ao potencial para a biorremediação deste efluente. O efluente apresentou elevados conteúdos de fenólicos totais, lignina solúvel e insolúvel e intensa turbidez e cor. Os parâmetros DBO₅ e DQO estavam em desacordo com a legislação brasileira para liberação em corpos hídricos receptores. A relação DBO₅ / DQO demonstrou que o efluente é biodegradável, o que indica a possibilidade do uso de tratamentos biológicos para remediação deste. Os fungos *Trichoderma koningiopsis*, *Calvatia gigantea* e o isolado 1 apresentaram elevada capacidade de crescimento em meio a base do efluente, bem como capacidade de remoção de cor e fenólicos, o que sugere potencial de uso destes em processos de biorremediação do efluente estudado.

PALAVRAS-CHAVE: Agente biológico; Compostos fenólicos; Lignina; Resíduo; Tratamento.

ABSTRACT

In the wood cooking process in the wood-laminate industry, a highly polluting and recalcitrant effluent is generated, which contains high contents of phenolics and organic load. The present work characterized an industrial effluent according to different physicochemical parameters. Filamentous fungi were isolated from the environment and evaluated regarding the potential for bioremediation of this effluent. The effluent showed high contents of total phenolics, soluble and insoluble lignin, and intense turbidity and color. The BOD₅ and COD parameters are in disagreement with the Brazilian legislation for its disposal. The BOD₅ / COD ratio demonstrated that the effluent is biodegradable, which indicates the possibility of using biological treatments for its remediation. The fungi *Trichoderma koningiopsis*, *Calvatia gigantea*, and isolate 1 showed high growth capacity in the effluent-based medium, as well as the ability to remove color and phenolics, which suggests their potential for use in bioremediation processes with the studied effluent.

KEYWORDS: Biological agent; Phenolics compounds; Lignin; Residue; Treatment.

INTRODUÇÃO

Entre os efluentes de origem industrial com elevado potencial poluidor encontram-se os efluentes gerados pelas indústrias de beneficiamento de madeira. O setor madeireiro

¹ Bolsista da Fundação Araucária, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: daiameneguzzi@hotmail.com. ID Lattes: 0324247966748905.

² Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: fernandamariarosa@hotmail.com. ID Lattes: 2611666177999871.

³ PIVIC, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: wesleisilva@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 3720706349472024.

⁴ Docente no Curso de Química, DAQUI. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: mcunha@utfpr.edu.br. ID Lattes: 3151576713472624.



possui uma importante contribuição para o desenvolvimento da economia no país, pois o Brasil detém um terço das florestas tropicais do mundo (CARVALHO, 2016).

Destaque deve ser dado as indústrias de laminados e compensados, que durante o seu processo produtivo, geram efluentes com alta carga orgânica e quantidades elevadas de compostos fenólicos derivados da lignina. Estes efluentes devem ser tratados adequadamente antes do lançamento em corpos receptores, seguindo os padrões de lançamento estabelecidos pela legislação vigente (ALMEIDA, 2013).

No entanto, os processos convencionalmente utilizados no tratamento possuem custos elevados e/ou são pouco eficientes, havendo, portanto, a necessidade de desenvolvimento de métodos de tratamento eficazes e viáveis economicamente. Fungos filamentosos têm sido utilizados em processos de biorremediação de efluentes industriais, em especial fungos ligninolíticos, pela capacidade de oxidarem enzimaticamente estruturas aromáticas presentes na lignina (BUGG, 2021).

Neste contexto, um efluente gerado em indústria de laminados de madeira foi caracterizado quanto a parâmetros físico-químicos e o potencial de biorremediação de fungos filamentosos isolados do ambiente foi avaliado.

MATERIAIS E MÉTODOS

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

O efluente foi adquirido em uma indústria de laminados de madeira localizada no Sudoeste do estado do Paraná, sendo armazenado em recipiente plástico e mantido sob refrigeração ao abrigo de luz.

O pH (potencial hidrogeniônico) da amostra foi medido com um potenciômetro digital de bancada. O conteúdo de sólidos totais, sólidos suspensos e resíduo mineral (cinzas), foram determinados seguindo protocolos descritos pela American Public Health Association (APHA 2005).

A turbidez da amostra foi determinada em turbidímetro digital Q279P (Quimis, Diadema, SP, Brasil) de bancada calibrado com soluções padrões. As leituras da condutividade foram realizadas em condutivímetro digital Q795P (Quimis, Diadema, SP, Brasil) de bancada calibrado com soluções padrão de 146,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (APHA, 2005). A cor da amostra foi avaliada de acordo com metodologia padrão de espectroscopia descrito por Canadian Pulp and Paper Association (HEINZ et al., 2019). Os conteúdos de lignina insolúvel e solúvel foram determinados conforme descrito por Moreira-Vilar *et al.* (2014). Análises de DQO (Demanda Química de oxigênio) e DBO (Demanda Bioquímica de oxigênio) foram realizadas em um laboratório terceirado, seguindo os métodos 5220-D e 5210 B (SMWW, 23ª Edição), respectivamente, da Associação Brasileira de Normas Técnicas. As quantificações de nitrogênio total, nitrito e nitrato seguiram protocolos da American Public Health Association (APHA, 2005). Espectrometria de absorção atômica com chama foi utilizada na quantificação de minerais, a qual foi conduzida no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UTFPR - Pato Branco (LabSolos).

OBTENÇÃO DOS FUNGOS FILAMENTOSOS



O fungo *Trichoderma koningiopsis* CCT 4288 foi obtido da Coleção de Culturas Tropicais da Fundação André Tosello. Três cepas fúngicas foram isoladas no município de Dois Vizinhos (Paraná): Isolado 1 e Isolado 2 (25°46'46"S 53°07'40"W) e o fungo basidiomiceto *Calvatia gigantea* (25° 70'32"S 53° 09'87"W).

Os fungos foram mantidos em tubos de ensaio com meio ágar Sabouraud a 5°C e repiques trimestrais. As cepas foram ativadas por repique e cultivo em placas Petri contendo meio ágar Sabouraud (28 °C, 96 h). As velocidades de crescimento radial dos micélios fúngicos em meio contendo 50% (v/v) de efluente foram determinadas. Placas contendo meio agar Sabouraud: 50% (v/v) e efluente industrial: 50% (v/v) foram preparadas e discos de 1 cm foram cortados no centro de cada placa e substituídos por discos contendo os micélios fúngicos pré-cultivados por 96 h (28 °C). A cada 24 horas foram realizadas medições do raio micelial com paquímetro analógico.

Buscando selecionar o fungo com maior potencial para biorremediação do efluente, também foram conduzidos cultivos submersos em meio com o efluente (50%, v/v) e caldo Sabouraud (50%, v/v). Os cultivos foram conduzidos em frascos agitados (250 mL) contendo 100 mL de meio por 144 h, 28 °C, 150 rpm. Como inóculo foram empregados 3 discos da pré-cultura de cada cepa. Ao final das fermentações foram determinadas cor, fenólicos totais e biomassa micelial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de caracterização do efluente industrial estão demonstrados na Tabela 1, bem como os limites legais de lançamento segundo as resoluções 357/2005, complementada e alterada pela resolução 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2011). O elevado potencial poluidor do efluente é claramente evidenciado, visto que os valores dos parâmetros físico-químicos avaliados estão acima dos valores permitidos pela legislação brasileira.

O efluente apresentou um valor de pH (4,2) um pouco inferior a faixa preconizada pelo CONAMA (Tabela 1), o qual estabelece uma faixa de pH de 5 a 9 para a emissão do efluente em um corpo receptor. Da mesma forma, os parâmetros DBO₅ (68.737,62 mgO₂/L) e DQO (137.812,50 mgO₂/L) estavam bem superiores aos limites da legislação brasileira, demonstrando a elevada recalcitrância e potencial de toxicidade ambiental do efluente. Tais valores estão bem superiores aos previamente reportados por Heinz *et al.* (2019) em efluente similar. A razão DBO₅/DQO encontrada foi de 0,50, o que indica que o efluente é biodegradável (razão superior a 0,40), portanto podendo ser tratado por processos biológicos (Heinz *et al.*, 2019).

O efluente também apresentou coloração (114.015,15 UC) e turbidez intensa (60,5 NTU), o que poderia promover redução da penetração da radiação solar nos corpos hídricos receptores, podendo levar a morte da biota aquática. Como esperado em um efluente de indústria madeireira, elevado conteúdo de fenólicos totais foram encontrados (9.088 mg GAE/L), o que é bem superior ao permitido pela legislação (0.5 mg/L). A presença de lignina e derivados podem justificar os elevados valores de fenóis totais, cor e turbidez verificados. De fato, o conteúdo de lignina Klason solúvel foi de 1360 mg/L e da lignina insolúvel foi de 49 mg/L.

O efluente também demonstrou ser rico em compostos nitrogenados, sendo verificado valores de nitrogênio total de 290,88 mg/L, nitratos de 285 mg/L e nitritos de 13



mg/L. Similarmente ao conteúdo de material nitrogenado e lignina, o efluente demonstrou elevados conteúdo de sólidos suspensos (12,53 g/L) e totais (117 g/L).

Tabela 1- Caracterização do Efluente Bruto

Parâmetros	Efluente Bruto	Legis*	Parâmetros	Efluente Bruto	Legis*
pH	4,2	5 a 9	Nitrogênio total	290,88 mg/L	NP
DQO	137.812,50 mgO ₂ /L	300 mgO ₂ /L	Nitratos	285 mg/L	NP
DBO ₅	68.737,62 mgO ₂ /L	50 mgO ₂ /L	Nitritos	13 mg/L	NP
DBO ₅ /DQO	0,50	NP	Lignina solúvel [#]	1360 mg/L	NP
Cor	114.015,15 UC	NP	Lignina Insolúvel [#]	49 mg/L	NP
Turbidez	60,5 NTU	NP	Sólidos Suspensos	12,53 g/L	NP
Condutividade	17,31 mS/cm	NP	Sólidos Totais	117 g/L	NP
Fenóis Totais	9.09 mg/L	0,5 mg/L	Resíduo mineral	26,6 g/L	NP

Fonte: Autoria própria (2023).

*Valores estabelecidos pela legislação (CONAMA 430/2011). [#]Lignina Klason. NP: Parâmetro não preconizado pela legislação Brasileira.

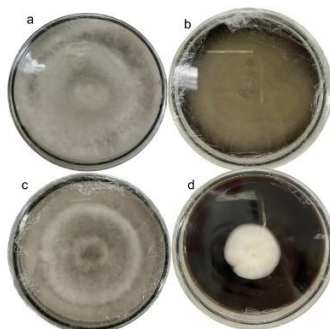
O efluente também é rico em minerais como fósforo (0,26 mg/mL), magnésio (0,83 mg/mL), cálcio (1,11 mg/mL), potássio (4,39 mg/mL), cobre (2,43 mg/L), zinco (34,11 mg/L), manganês (131,3 mg/L), carbono (43,8 mg/mL) e ferro (1,45 g/L). Tal característica pode ter influência positiva em processos biológicos com o efluente, visto que minerais são importantes nutrientes para o crescimento microbiano, com alguns atuando como cofatores enzimáticos (BASU, 2015).

Em relação aos ensaios biológicos com os fungos filamentosos estudados, foi verificado que o *Trichoderma koningiopsis*, a *Calvatia gigantea* e o isolado 1 se desenvolveram bem nas placas contendo o meio com o efluente industrial bruto (Figura 1). Após 120 h de incubação os micélios do fungo *T. koningiopsis* (a) e do isolado 1 já haviam crescido em toda a placa. As velocidades médias de crescimento radial dos micélios foram: 0,75 mm/h (*T. koningiopsis*), 0,73 mm/h (isolado 1), 0,64 mm/h (*C. gigantea*) e 0,27 mm/h (Isolado 2). O fungo *T. koningiopsis* e o isolado 1 foram as cepas que apresentaram melhor crescimento radial nos cultivos em placas com meio contendo o efluente. Por outro lado, o Isolado 2, demonstrou baixa velocidade de crescimento micelial nas mesmas condições de cultivo.

Na Tabela 2 estão descritos os parâmetros crescimento micelial (biomassa fúngica), capacidade de remoção de cor e fenólicos totais. Similarmente, aos resultados de crescimento radial dos micélios fúngicos, os fungos *T. koningiopsis* e isolado 1 apresentaram maior potencial para remoção cor (43,85% e 43,93%, respectivamente) e fenólicos (81,85% e 81,18%, respectivamente). Em relação ao crescimento micelial nos cultivos submersos contendo o efluente industrial, os fungos *T. koningiopsis* e *C. gigantea* apresentaram maior capacidade de adaptação ao meio tóxico, sendo verificado os maiores conteúdos de biomassa micelial no final dos cultivos (15,08 g/L e 14,52 g/L, respectivamente). Interessante destacar que o isolado 1, embora tenha apresentado a menor produção de biomassa celular (4,5 g/L) teve proeminente desempenho em relação a remoção de cor e de fenólicos, sugerindo que o mesmo é um bom produtor de

polifenoloxidades envolvidas na degradação dos compostos fenólicos presentes no efluente.

Figura 1: Crescimento radial dos micélios fúngicos em meio à base de efluente



Fonte: Autoria própria (2023).
Trichoderma. koningiopsis (a), *Calvatia gigantea* (b), isolado 1 (c) e isolado 2 (d).

Tabela 2 – Crescimento micelial, remoção de cor e fenólicos de solução do efluente

	Crescimento micelial	Remoção de cor	Remoção de fenólicos
Isolado 1	6,86 g/L	36,54 %	79,64 %
Isolado 2	4,50 g/L	43,93 %	81,18 %
<i>Trichoderma koningiopsis</i>	15,08 g/L	43,85 %	81,95 %
<i>Calvatia gigantea</i>	14,52 g/L	09,28 %	76,67 %

Fonte: Autoria própria (2023).

CONCLUSÃO

O efluente estudado, oriundo da indústria de produção de laminados, apresentou elevado potencial poluidor, sendo rico em compostos fenólicos e apresentando intensa turbidez e cor. Os parâmetros DBO₅ e DQO estavam bem acima dos tolerados pela legislação brasileira para liberação em corpos hídricos receptores. A relação DBO₅ / DQO encontrada, indica que o efluente é biodegradável e, portanto, havendo possibilidade de eficiência no uso de tratamentos biológicos. Os fungos *Trichoderma koningiopsis*, *Calvatia gigantea* e o isolado 1 apresentaram elevada capacidade de crescimento em meio a base do efluente, bem como capacidade de remoção de cor e fenólicos, o que sugere potencial para uso em processos de biorremediação com o efluente estudado.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação Araucária FA – Paraná/Brasil e da Universidade Tecnológica Federal do Paraná/Brasil.



CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. DOS S.; ROSA, E. V. C.; PAIXÃO, J. F. DA. Avaliação da legislação para lançamento de efluentes em relação à ecotoxicidade. <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/V-003.pdf>, 25 nov. 2013.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examinations for Water and Wastewater**. Washington, D.C: 21th Centennial Edition, 2005.

BASU, S. et al. Evolution of bacterial and fungal growth media. **Bioinformation**, v. 11, n. 4, p. 182, 2015.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 430/11**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, SEMA, 2011.

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

CARVALHO JR., J. A. et al. CO₂ and CO emission rates from three forest fire controlled experiments in Western Amazonia. **Atmospheric Environment**, v. 135, p. 73–83, jun. 2016.

HEINZ, O. L. et al. Combined fungal and photo-oxidative Fenton processes for the treatment of wood-laminate industrial waste effluent. **Journal of Hazardous Materials**, v. 379, p. 120790, nov. 2019.

MOREIRA-VILAR, F. C. et al. The Acetyl Bromide Method Is Faster, Simpler and Presents Best Recovery of Lignin in Different Herbaceous Tissues than Klason and Thioglycolic Acid Methods. **PLoS ONE**, v. 9, n. 10, p. e110000, 16 out. 2014.