



## **Descoloração de corantes industriais por fungos degradadores de madeira isolados no campus da UFAM**

Natasha Helena Souza Ribeiro<sup>1</sup>, Sabrina Lima da Silva<sup>2</sup>, Laianne Lopes Rocha<sup>3</sup>, Aleksander Westphal Muniz<sup>4</sup>, Noemia Kazue Ishikawa<sup>5</sup>, José Renato Pereira Cavallazzi<sup>6</sup>

*Submetido 01/11/2017 – Aceito 28/11/2017 – Publicado on-line 04/01/2018*

### **RESUMO**

Os fungos de podridão branca (FPB) são os únicos organismos capazes de mineralizar a lignina. Seu sistema enzimático ligninolítico é inespecífico, permitindo oxidar uma grande variedade de substratos. Uma das potenciais aplicações é a utilização em sistemas de biorremediação de corantes da indústria têxtil. Este estudo se propôs a isolar fungos de podridão branca e determinar sua capacidade de descoloração de corantes *in vitro*. Os fungos foram isolados a partir de basidiocarpos coletados em toras de árvores mortas no campus da Universidade Federal do Amazonas em Manaus. Os isolados obtidos foram cultivados em meio ágar extrato de malte (AEM) contendo ácido tânico ou guaiacol, compostos cuja oxidação por um micro-organismo é um indicador de produção de enzimas ligninolíticas. Os isolados também foram cultivados em meio AEM contendo um dos seguintes corantes: Remazol Brilliant Blue R (RBBR), Acid Blue 129 (AB129), Reactive Blue 4 (RB4), Reactive Black 5 (RB5) e Acid Red 1 (AR1). Foram obtidos 13 isolados e todos foram capazes de oxidar o ácido tânico, mas apenas seis oxidaram o guaiacol. Os isolados LMA008, LMA009 e LMA012 foram os únicos que promoveram a descoloração de todos os corantes utilizados neste estudo. Quatro isolados não foram capazes de descolorir nenhum corante. De uma maneira geral, os isolados que produziram um halo marrom-escuro quando cultivados em meio com ácido tânico se mostraram capazes de descolorir um maior número de corantes. Neste estudo o guaiacol mostrou-se um melhor indicador da capacidade de descoloração dos fungos de podridão branca.

**Palavras chaves:** fungos de podridão branca, biorremediação, enzimas ligninolíticas.

### **Descoloration of industrial dyes by wood degrading fungi isolated in the UFAM campus.**

White rot fungi (WRF) are the only known organisms able to mineralize lignin. Their ligninolytic enzymatic system is unspecific which allows it to oxidize a wide range of substrates. One of their potential applications is in industrial dyes bioremediation systems. The present study is aimed to isolate white rot fungi and to investigate their discoloration capacity of industrial dyes *in vivo*. The WRF were isolated from decaying logs found at the Federal University of Amazon State campus, in Brazil. The isolated WRF were cultivated in medium malt extract agar (MAE) containing tannic acid or guaiacol, substances whose oxidation by a microorganism is considered

---

<sup>1</sup> Acadêmica de Ciências Biológicas, bolsista PIBIC/FAPEAM, Laboratório de Microbiologia Ambiental, ICB/ UFAM, E-mail: natashahelenaribeiro@hotmail.com

<sup>2</sup> Acadêmica de Ciências Biológicas, bolsista PIBIC/CNPq, Laboratório de Microbiologia Ambiental, ICB/UFAM. E-mail: sabrina\_lima1997@hotmail.com

<sup>3</sup> Acadêmica de Ciências Biológicas, Laboratório de Microbiologia Ambiental, ICB/UFAM. E-mail: lala2095@hotmail.com

<sup>4</sup> Doutor em Microbiologia Agrícola e do Ambiente e pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, E-mail: aleksander.muniz@embrapa.br

<sup>5</sup> Doutora em Recursos Naturais e pesquisadora INPA, Coordenação de Biodiversidade, E-mail: noemia@inpa.gov.br

<sup>6</sup> Doutor em Microbiologia Agrícola e professor, Laboratório de Microbiologia Ambiental, ICB/UFAM. E-mail: jrpcavallazzi@yahoo.com.br - Autor para correspondência.

to be an indicator of ligninolytic enzymes production. Then the WRF were cultivated in the same medium containing one of the following dyes: Remazol Brilliant Blue R (RBBR), Acid Blue 129 (AB129), Reactive Blue 4 (RB4), Reactive Black 5 (RB5) and Acid Red 1 (AR1). It were obtained 13 WRF isolates and all of them were successfully oxidizes tannic acid while only six were able to oxidize guaiacol. The isolates LMA008, LMA009 and LMA012 were the only able to decolorize all dyes and four isolates did not decolorize any of them. Generally speaking the isolates that produce a dark brown halo while cultivated in medium with tannic acid showed more ability to decolorize dyes. In this study guaiacol was a better indicator of the potential dye decolorizing ability of the WRF than tannic acid.

**Keywords:** white rot fungi, bioremediation, ligninolytic enzymes.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é um setor no qual há um expressivo requerimento por água e compostos químicos, como corantes (GILPAVAS et al., 2017; YURTSEVER et al., 2016). Aproximadamente 10 a 15% dos corantes são perdidos devido à ineficiências no processo de coloração e descartados em corpos d'água causando alterações na transparência e outros efeitos que alteram drasticamente o ambiente, podendo até mesmo ser transformados em substâncias carcinogênicas quando degradados em condição de anaerobiose (CHUNG; STEVENS, 1993; RODRÍGUEZ-COUTO, 2015). Dessa forma, é de fundamental importância o desenvolvimento de sistemas para degradar essas substâncias e evitar eventuais impactos ambientais. Dentre várias estratégias de descoloração testadas encontram-se métodos físicos e químicos, como adsorção, precipitação, degradação química e foto-degradação, mas que não têm obtido resultados satisfatórios (ROBINSON et al., 2001; SAROJ et al., 2014). Recentemente, a descoloração de compostos industriais poluentes por fungos vem ganhando notoriedade. Os fungos de podridão branca têm se revelado os mais eficientes, pois sintetizam enzimas ligninolíticas tais como lacase, manganês peroxidase e lignina peroxidase, que atuam na degradação de lignina (WESENBERG et al., 2003). As enzimas ligninolíticas sintetizadas por fungos de podridão branca são inespecíficas e capazes de oxidar uma ampla gama de substratos, incluindo corantes industriais tóxicos (FU; VIRARAGHAVAN, 2006; SAPARAT; HAMMER, 2007; ROBINSON et al., 2001;

WESENBERG et al., 2003; ZENG et al., 2011).

Um importante obstáculo na aplicação de tecnologias de biorremediação é o grande volume de efluentes gerados, que demandaria significativas quantidades de enzimas ligninolíticas (MURUGESAN et al., 2007). Dessa forma, torna-se fundamental a constante busca na natureza por novas espécies capazes de degradar corantes (LEVIN et al., 2010) de modo a se obter isolados com maiores produções dessas enzimas. Diversas pesquisas estão sendo desenvolvidas com o objetivo de isolar fungos de podridão branca que apresentem altas produções de enzimas ligninolíticas utilizando o corante Remazol Brilliant Blue R (RBBR) como indicador de produção de lacases, haja vista esta enzima ser considerada a principal em processos de descoloração de corantes industriais. Ao contrário das peroxidases, as lacases não requerem  $H_2O_2$  para completar o seu ciclo catalítico e também são capazes de oxidar uma ampla gama de diferentes substratos, que pode ser aumentada com a utilização de mediadores redox de baixo peso molecular (REYES et al., 1999; SAITO et al., 2003). Kiiskinen et al. (2004) obtiveram 26 isolados produtores de lacases com potencial para serem utilizados em processos de biorremediação a partir de diferentes substratos em decomposição na Finlândia e na Rússia utilizando como indicadores os corantes RBBR e Poly R-478. No Brasil, Machado et al. (2005) isolaram 125 fungos da Mata Atlântica, dos quais 106 foram capazes de descolorir RBBR em meio sólido. A descoloração de RBBR por um fungo de podridão branca é considerada um método adequado para a triagem de

organismos que apresentem um sistema multienzimático de degradação de compostos poluentes a ser utilizado em processos de biorremediação.

A região amazônica abriga a maior floresta tropical do planeta, e exibe uma expressiva biodiversidade de micro-organismos. Os fungos de podridão branca têm papel fundamental nos ciclos biogeoquímicos deste ecossistema, pois são os únicos organismos capazes de mineralizar a lignina, um componente da fibra vegetal considerado de difícil degradação. No entanto, a quantidade de pesquisa que vem sendo desenvolvida nesta área ainda é tímida se levarmos em consideração o tamanho da floresta e seu potencial e, provavelmente, muitos fungos produtores de enzimas ligninolíticas ainda não foram investigados e nem sequer identificados. Desta forma, o objetivo deste estudo é isolar fungos de podridão branca a partir de madeira em decomposição e cultivá-los em meio de cultura contendo corantes industriais de modo a investigar sua habilidade em descolori-los.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1 Isolados fúngicos**

Os isolados de fungos utilizados neste trabalho foram obtidos a partir de madeira em decomposição no campus da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) em Manaus. Basidiocarpos foram coletados, acondicionados em recipientes e levados para isolamento em laboratório. No laboratório fragmentos dos basidiocarpos (5 x 5 mm) foram assepticamente obtidos e submetidos a desinfecção superficial por imersão em álcool 70% por 30 segundos, em hipoclorito de sódio 2% por 2min e depois lavados em água esterilizada por duas vezes. Os fragmentos foram depositados em placas de Petri contendo meio ágar extrato de malte (AEM) acrescido de tetraciclina (50 mg/L) e incubados a temperatura ambiente. Os isolados obtidos foram mantidos através de sucessivas repicagens sempre que necessário em meio AEM e guardados em refrigerador (5 °C). Nesta investigação foi utilizado um isolado do fungo da espécie *Phanerochaete*

*chrysosporium* (ATCC 24725) como controle.

### **2.2 Indicadores e corantes**

Foram utilizados dois indicadores de atividade ligninolítica: ácido tânico (Vetec) e guaiacol (Sigma, Tabela 1). Diferentes compostos pertencentes a duas classes de corantes foram utilizados (Tabela 1). Corantes da classe das antraquinonas: Remazol Brilliant Blue R (RBBR, Sigma), Acid Blue 129 (AB129, Sigma-Aldrich) e Reactive Blue 4 (RB4, Sigma-Aldrich). Corantes da classe azo: Reactive Black 5 (RB5, Sigma-Aldrich) e Acid Red 1 (AR1, Aldrich).

### **2.3 Investigação da atividade ligninolítica**

Os fungos isolados foram repicados para placas de Petri contendo meio AEM e após 10 dias discos de 8 mm de diâmetro retirado da borda das colônias foram novamente transferidos em triplicata para placas contendo o mesmo meio acrescido de ácido tânico (5 g/L) ou guaiacol (500 ppm). As placas foram incubadas em temperatura ambiente e diariamente observadas. O aparecimento de halo marrom no meio contendo ácido tânico ou de um halo vermelho em placas contendo guaiacol indicou a produção de enzimas ligninolíticas pelos isolados. No caso das placas com meio contendo ácido tânico, a intensidade da coloração do halo também foi registrada visualmente.

### **2.4 Cultivo em meio sólido**

Discos de meio de AEM contendo micélio foram retirados de culturas de 10 dias e repicados em triplicata para placas contendo o mesmo meio acrescido de 2% de cada um dos corantes. As culturas foram incubadas em temperatura ambiente e observadas diariamente a fim de detectar descoloração dos compostos. Além da descoloração, foram registrados o tempo de aparecimento do halo de descoloração e o tempo para a descoloração total do meio na placa.

**Tabela 1.** Nome, peso molecular, comprimento de onda e estrutura molecular de indicadores e corantes industriais.

Composto	Peso molecular (g mol <sup>-1</sup> )	Estrutura molecular
Ácido Tânico	1.701,19	
Guaiacol	124,14	
RBBR	626,54	
AB129	460,48	
RB4	637,43	
RB5	991,82	
AR1	509,42	

### 3. Resultados e Discussão

Após uma semana de cultivo todos os fungos isolados a partir de toras em

decomposição produziram um halo marrom quando cultivados em meio de cultura sólido acrescido com ácido tânico, com exceção do

isolado controle *P. chrysosporium*. A intensidade dos halos produzidos no meio contendo ácido tânico variou de uma coloração marrom clara até marrom escura (Tabela 2). O ácido tânico, juntamente com o ácido gálico, é um composto tradicionalmente utilizado na triagem de fungos produtores de lacases (HARKING; OBST, 1973), mas que vem gradativamente sendo substituído por compostos fenólicos sintéticos (RAGHUKUMAR et al., 1999). O uso de corantes sintéticos na seleção de

micro-organismos ligninolíticos apresenta uma série de vantagens em relação aos compostos tradicionalmente utilizados, pois são mais estáveis, mais baratos e menos tóxicos em relação àqueles, além de serem facilmente quantificáveis através de técnicas de espectrofotometria. A descoloração do RBBR, por exemplo, é considerada um indicativo da presença de um sistema multi-enzimático de degradação de xenobióticos (MACHADO et al., 2005).

**Tabela 2.** Produção de halo<sup>1</sup> e descoloração<sup>2</sup> em meio de cultura contendo indicadores de produção de lacases e corantes industriais por fungo degradadores de madeira.

Isolados	Indicadores			Corantes				
	Reação	Intensidade do halo <sup>3</sup>	Guaiacol	Antraquinona			Azo	
				RBBR	RB4	AB129	AR1	RB5
<i>P. chrysosporium</i>	-	-	-	+	-	-	+	-
LMA001	+	**	+	+	+	+	+	-
LMA002	+	*	-	+	+	-	-	+
LMA003	+	**	-	-	-	-	-	-
LMA004	+	**	+	-	-	-	-	-
LMA005	+	**	-	-	-	-	-	-
LMA006	+	*	-	-	-	-	-	-
LMA007	+	*	-	-	-	-	-	-
LMA008	+	***	+	+	+	+	+	+
LMA009	+	***	+	+	+	+	+	+
LMA010	+	*	-	+	-	-	-	-
LMA011	+	**	-	+	+	+	-	+
LMA012	+	**	+	+	+	+	+	+
LMA013	+	**	+	-	+	-	-	+

<sup>1</sup> nos meios com Ácido Tânico e Guaiacol

<sup>2</sup> nos meios com RBBR, AR, AB129, RB4 e RB5

<sup>3</sup> - não formou halo; \* halo marrom claro; \*\* halo marrom intermediário; \*\*\* halo marrom escuro.

Neste estudo foi observada uma maior sensibilidade do ácido tânico em relação ao RBBR na detecção de isolados potencialmente produtores de lacase, pois dos 13 isolados testados apenas sete foram capazes de descolorir o RBBR, enquanto que todos os isolados foram capazes de oxidar o

ácido tânico. O guaiacol foi ainda menos sensível, com seis positivos dentre os 13 testados (Tabela 2). Resultados contrastantes foram observados em uma investigação semelhante com 20 fungos degradadores de madeira, na qual 17 descoloriram RBBR, 19 oxidaram guaiacol e apenas dez oxidaram

ácido tânico (KIISKINEN et al., 2004), que mostrou-se o menos sensível.

Inúmeros trabalhos já demonstraram que, além das lacases, outras enzimas ligninolíticas são capazes de degradar RBBR (DE JONG et al., 1992; MURUGESAN et al., 2007, RODRÍGUEZ-COUTO et al., 2000; RYU et al., 2003, SUMANDONO et al., 2015; YANG et al., 2016), dessa forma pensamos que esse composto não seja um indicador adequado para a detecção de atividade de lacases. Tal informação foi corroborada no presente trabalho, visto que o isolado *P. chrysosporium*, um fungo que não produz lacases (MARTINEZ et al., 2004), foi capaz de degradar o RBBR.

Houve certa correlação entre a intensidade do halo formado nas placas contendo ácido tânico e degradação dos cinco corantes. Os únicos três fungos capazes de descolorir todos os corantes foram os isolados LMA008 e LMA009, os únicos a produzirem um halo marrom escuro, e o isolado LMA012, que produziu um halo marrom intermediário. Dentre os quatro isolados que não foram capazes de descolorir nenhum corante, dois apresentaram halo marrom claro (isolados LMA006 e LMA007) e outros dois apresentaram halo marrom intermediário (isolados LMA003 e LMA005).

Também foi observada uma correlação entre a intensidade do halo de oxidação do ácido tânico e a produção e halo em meio contendo guaiacol (Tabela 2). Dentre os cinco isolados que produziram halo em meio de cultura contendo guaiacol, todos apresentaram no meio contendo ácido tânico um halo marrom escuro ou intermediário. Dentre os sete isolados que não oxidaram o guaiacol, três apresentaram halo marrom intermediário e quatro apresentaram halo marrom claro quando cultivados em meio com ácido tânico. O isolado controle *P. chrysosporium* não obteve resultado positivo em nenhum dos indicadores.

De uma maneira geral os isolados capazes de oxidar o guaiacol demonstraram maior capacidade de descoloração dos

corantes utilizados neste estudo (Tabela 2), com exceção do isolado LMA004, que oxidou guaiacol e não descoloriu nenhum corante. Dos cinco isolados que não descoloriram nenhum corante quatro não oxidaram guaiacol (LMA003, LMA005, LMA006 e LMA007). E dentre os três isolados capazes de descolorir todos os corantes (LMA008, LMA009 e LMA012) todos foram capazes de oxidar o guaiacol. Dessa forma, neste trabalho o guaiacol foi um indicador de capacidade de descoloração de corantes melhor que o ácido tânico.

Investigando a descoloração dos mesmos corantes utilizados neste estudo por um fungo da espécie *Trametes trogii*, Zeng et al. (2011) observaram que a descoloração *in vitro* dos corantes azo (AR1 e RB5), considerados de mais difícil degradação, ocorreu apenas com a adição de um mediador redox (HOBT) na mistura de reação. Murugesan et al. (2007) observaram uma completa descoloração de RBBR em meio sólido por *Ganoderma lucidum* após 14 dias de incubação, enquanto que o meio contendo RB5 só foi descolorido com a adição de 1 mM HBT (N-hidroxibenzotriazol). No presente estudo, os mesmos corantes tiveram resultados contrastantes, mas ocorreu completa descoloração de RB5 sem a necessidade de adição de um mediador redox. O AR1 foi o que mais tempo levou para começar a ser degradado e para ser totalmente degradado em meio sólido (Tabela 3), enquanto que o RB5 foi o que apresentou descoloração mais cedo e que também foi totalmente degradado mais rapidamente em relação aos outros corantes utilizados. Oito isolados foram capazes de descolorir RBBR, com média de 10,3 dias para descoloração total (Tabela 3), enquanto que seis isolados descoloriram RB5, com uma média de 7,3 dias. Nesta investigação foi observada a formação de uma coloração marrom nos frascos contendo RB5. Murugesan et al. (2007) observaram o mesmo fenômeno e afirmaram que o aparecimento da coloração marrom seria consequência da polimerização de produtos da reação de descoloração do composto.

**Tabela 3.** Tempo médio<sup>1</sup> (em dias) para o início e o fim da descoloração de corantes industriais em meio de cultura sólido por fungos degradadores de madeira.

Isolado	Antraquinona						Azo			
	RBBR		RB4		AB129		AR1		RB5	
	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
<i>P. chrysosporium</i>	5	9	-	-	-	-	7	14	-	-
LMA001	5	9	8	11	7	10	9	12	-	-
LMA002	8	14	3	14	-	-	-	-	3	6
LMA003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LMA004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LMA005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LMA006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LMA007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LMA008	4	8	4	9	7	9	7	12	4	8
LMA009	4	8	2	6	7	8	7	14	3	6
LMA010	8	14	-	-	-	-	-	-	-	-
LMA011	7	9	4	9	6	14	-	-	4	9
LMA012	7	11	4	6	5	8	8	12	4	7
LMA013	-	-	7	9	-	-	-	-	4	8
<b>Média</b>	<b>6,0</b>	<b>10,3</b>	<b>4,6</b>	<b>9,1</b>	<b>6,4</b>	<b>9,8</b>	<b>7,6</b>	<b>12,8</b>	<b>3,7</b>	<b>7,3</b>

<sup>1</sup> média de três repetições; - não houve descoloração.

O isolado LMA009 foi o que degradou, isoladamente ou juntamente com outros, mais rapidamente todos os corantes, com exceção do AB129. Zeng et al. (2011) observaram que a adição de inibidores de lacase, como cisteína e  $\text{NaN}_3$ , inibiu a descoloração de RBBR pelo extrato enzimático de *T. trogii*, o que indica que esta enzima atua sobre este corante. No entanto, como naquela investigação não foram detectadas atividade de outras enzimas ligninolíticas no referido trabalho, não há como afirmar que a lacase seja a única capaz de descolorir este corante.

As diferenças no início da descoloração dos corantes por diferentes isolados fúngicos são reflexo do tipo de metabolismo. O isolado *P. chrysosporium*, por exemplo, produz suas enzimas ligninolíticas apenas quando a glicose do meio estiver totalmente exaurida, enquanto que outros fungos como *Trametes versicolor*,

são capazes de sintetizá-las quando ainda houver baixas concentrações deste composto (WONG; YU, 1999). Outro fator importante é o pH do meio de cultura. As lacases exibem maior atividade entre pH 4,0 e 5,0 e praticamente não tem atividade em valores em torno de 7,0. Utilizando extrato enzimático de *T. trogii* (que produziu apenas lacase), Zeng et al. (2011) observaram que as taxas de descoloração máximas foram observadas em pH 4,0 até 5,0, enquanto que em pH 7,0 a descoloração foi praticamente inexistente.

Sabe-se que altas concentrações de corantes podem inibir o crescimento dos isolados fúngicos (ZENG et al., 2011), o que inviabiliza ou pelo menos dificulta a sua utilização em sistemas de biorremediação em larga escala. Por outro lado, a utilização de extratos enzimáticos apresenta uma série de vantagens em relação à utilização de



culturas de fungos, pois sua produção não é tão cara e os extratos podem inclusive conter alguns mediadores importantes para o bom funcionamento do ciclo catalítico de algumas enzimas (JOHANNES; MAJCHERCZYK, 2000), além de serem capazes de descolorir compostos em menos tempo (ZENG et al., 2011).

#### 4. Conclusões

Este estudo demonstrou que dentre os 13 isolados obtidos a partir de madeira em decomposição utilizados neste estudo pelo menos sete apresentam potencial para serem utilizados em sistemas de biorremediação, pois foram capazes de descolorir pelo menos um dos corantes. De acordo com os resultados obtidos nesta investigação o ácido tânico não foi um bom indicador para seleção de fungos capazes de descolorir os corantes, pois mesmo os isolados que não foram capazes de causar nenhuma descoloração oxidaram este composto, enquanto que o isolado controle, que não oxidou o ácido tânico, foi capaz de descolorir dois corantes. O guaiacol foi um indicador melhor da capacidade dos fungos em descolorir os compostos em relação ao ácido tânico, com exceção do isolado quatro, que oxidou guaiacol e não descoloriu nenhum corante.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à UFAM, FAPEAM e CNPq.

#### Divulgação

Este artigo é inédito. Os autores e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais,

tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

#### Referências

CHUNG K. T.; STEVENS JR. S. E. Decolorization of azo dyes by environmental microorganisms and helminths. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 12, n. 11, p. 2121-2132, 1993.

DE JONG, E.; DE VRIES, F. P.; FIELD, J. A.; VAN DER ZWAN, R.P.; DE BONT, J. A. M. Isolation and screening of basidiomycetes with high peroxidative activity. **Mycological Research**, v. 12, p. 1098-1104, 1992.

FU, Y. Z.; VIRARAGHAVAN, T. Fungal decolorization of dye wastewaters: a review. **Bioresource Technology**, v. 79, p. 251-262, 2001.

GILPAVAS, E.; DOBROSZ-GOMEZ, I.; GOMEZ-GARCÍA; M. A. Coagulation-flocculation sequential with Fenton or Photo-Fenton processes as an alternative for the industrial textile wastewater treatment. **Journal of Environmental Management**, v. 191, p. 189-197, 2017.

HARKIN, J. M.; OBST, J. R. Syringaldazine, an effective reagent for detecting lacase and peroxidase in fungi. **Experimentia**, v. 29, p. 381-387, 1973.

JOHANNES, C.; MAJCHERCZYK, A. Natural mediators in the oxidation of polycyclic aromatic hydrocarbons by laccase mediator systems. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 66, p. 524-528, 2000.

KIISKINEN, L.-L.; RÄTTÖ, M.; KRUIUS, K. Screening for novel lacase-producing microbes. **Journal of Applied Microbiology**, v. 97, p. 640-646, 2004.

LEVIN, L.; MELIGNANI, E.; RAMOS, A. Effect of nitrogen sources and vitamins on ligninolytic enzyme production by some white-rot fungi. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 4554-4563, 2010.

MACHADO, K. M. G.; MATHEUS, D. R.; BONONI, V. L. Ligninolytic enzymes production and remazol brilliant blue r decolorization by tropical Brazilian basidiomycetes fungi. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 36, p. 246-252, 2005.

MARTINEZ, D.; LARRONDO, L. F.; PUTNAM, N.; GELPKKE, M. D. S.; HUANG,



- K.;CHAPMAN, J.; HELFENBEIN, K. G.; RAMAIYA, P.; DETTER, J. C.; LARIMER, F.; COUTINHO, P. M.; HENRISSAT,B.; BERKA, R.; CULLEN, D.; ROKHSAR, D. Genome sequence of the lignicellulose degrading fungus *Phanerochaete chrysosporium* strain RP78. **Nature Biotechnology**, v. 22, p. 695-700, 2004.
- MURUGESAN, K.; NAM, I. H.; KIM, Y. M.; CHANG, Y. S. Decolorization of reactive dyes by a thermostable laccase produced by *Ganoderma lucidum* in solid state culture. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 40, p. 1662-1672, 2007.
- RAGHUKUMAR, C.; D'SOUZA, T. M.; THORN, R. G.; REDDY, C. A. Lignin-modifying enzymes of *Flavodon flavus*, a basidiomycete isolated form a coastal marine environment. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 65, p. 2103-2111, 1999.
- REYES, R.; PICKARD, M.; VAZQUEZ-DUHALT, R. (1999) Hydroxybenzotriazole increase the range of textile dyes decolorized by immobilized laccase. **Biotechnology Letters**, v. 21, p. 875–880, 1999.
- ROBINSON, T.; MCMULLAN, G.; MARCHANT, R.; NIGAM, P. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. **Bioresource Technology**, v. 77, p. 247–255, 2001.
- RODRÍGUEZ COUTO, S.; RIVELA, I.; SANROMÁN, A. In vivo decolourization of the polymeric dye Poly R-478 by corncob cultures of *Phanerochaete chrysosporium*. **Acta Biotechnologica**, v. 20, p.31–38, 2000.
- RODRÍGUEZ-COUTO, S. Degradation of azo dyes by white-rotfungi. In: SINGH, S.N. (Ed.), **Microbial Degradation of Synthetic Dyes in Wastewaters**. Springer, New York, 2015. p. 315–331.
- RYU, W.Y., JANG, M.Y.; CHO, M.H. The selective visualization of lignin peroxidase, manganese peroxidase and laccase, produced by white rot fungi on solid media. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, v. 8, p. 130–134, 2003.
- SAITO, T.; HONG, P.; KATO, K.; OKAZAKI, M.; INAGAKI, H.; MAEDA, S. Purification and characterization of an extracellular laccase of a fungus (family Chaetomiaceae) isolated from soil. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 33, p. 520–526, 2003
- SAPARRAT, M.; HAMMER, E. Decolorization of synthetic dyes by the deuteromycete *Pestalotiopsis guepinii* CLPS no. 786 strain. **Journal of Basic Microbiology**, v. 46, p. 28–33, 2006.
- SAROJ, S., KUMAR, K., PAREEK, N., PRASAD, R., SINGH, R.P. Biodegradation of azo dyes Acid Red 183, Direct Blue 15 and Direct Red 75 by the isolate *Penicillium oxalicum* SAR-3. **Chemosphere**, v. 107, p. 240–248, 2014.
- SUMANDONO, T; SARAGIH, H.; WATANABE, T.; AMIRTA, R. Decolorization of Remazol Brilliant Blue R by new isolated white rot fungus collected from tropical rain forest in East Kalimantan and its ligninolytic enzymes activity. **Procedia Environmental Sciences**, v. 28, p. 45–51, 2015.
- WESENBERG, D.; KYRIAKIDES, I.; AGATHOS, S. N. White-rot fungi and their enzymes for the treatment of industrial dye effluents. **Biotechnological Advances**, v. 22, p. 161–187, 2003.
- WONG, Y.; YU, J. (1999) Laccase-catalyzed decolorization of synthetic dyes. **Water research**, v. 33, p. 3512-3520, 1999.
- YANG, J.; XU, X.; YANG, X.; YE, X.; JUAN LIN, J. Cross-linked enzyme aggregates of *Cerrena* laccase: Preparation, enhanced NaCl tolerance and decolorization of Remazol Brilliant Blue Reactive. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 65, p. 1–7, 2016.
- YURTSEVER, A., CALIMLIOGLU, B., SAHINKAYA, E. Impact of SRT on the efficiency and microbial community of sequential anaerobic and aerobic membrane bioreactors for the treatment of textile industry wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 314, p. 378-387, 2016.
- ZENG, X.; CAI, Y.; LIAO, X.; ZENG, X.; LI, W.; ZHANG, D. Decolorization of synthetic dyes by crude laccase from a new isolated *Trametes trogii* strain cultivated on solid agro-industrial residue. **Journal of Hazardous Materials**, v. 187, p. 517-525, 2011.