

**WILLIAM SEITI OKADA**

**Otimização da produção de inóculo fúngico de *Psilocybe castanella* CCB 444 para biorremediação de solos.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Interunidades em Biotecnologia USP/Instituto Butantan/IPT, para obtenção do Título de Mestre em Biotecnologia.

Área de Concentração: Biotecnologia Ambiental

Orientador: Dr. Dácio Roberto Matheus

São Paulo  
2010

## RESUMO

OKADA, W.S. **Otimização da produção de inóculo fúngico de *Psilocybe castanella* CCB 444 para biorremediação de solos.** 2010. 138 f. [Dissertação]. São Paulo – Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Evidências sobre a perda de eficiência do inóculo fúngico no processo de incorporação ao solo devido ao alto grau de atrito com o mesmo, proporcionado pelo processo de mistura e perda de umidade, indicam a necessidade de desenvolvimento de um inóculo efetivo e economicamente viável, que mantenha sua atividade biológica durante o transporte e aplicação no solo e proporcione melhora efetiva da remediação de solos. Este projeto de pesquisa visou determinar a melhor formulação de inóculo fúngico de *Psilocybe castanella* em peletes a ser utilizado em processos de remediação de solos contaminados por organoclorados e outros poluentes, por meio da melhora da resistência mecânica dos inóculos à abrasão do solo, procurando garantir as taxas de atividade enzimática e degradação de poluentes em solo. O projeto, constituído de três fases, avaliou a utilização dos agregantes agar-agar, fécula de mandioca e carragena na agregação das fibras de bagaço de cana-de-açúcar de inóculo fúngico de *P. castanella*. Através de ensaios de resistência mecânica, ensaios enzimáticos, quantificação de biomassa, colonização interna e externa do pelete e degradação de pentaclorofenol em solo, determinou-se qual agregante poderia proporcionar melhor da resistência mecânica do inóculo às condições abrasivas encontradas durante a incorporação do fungo ao solo em processos de remediação de solos contaminados. De modo geral, a adição dos agregantes para aumento da resistência mecânica dos inóculos fúngicos de não alterou significativamente o perfil fisiológico do fungo. Dos agregantes avaliados neste projeto, fécula de mandioca mostrou-se capaz de fornecer resistência mecânica ao inóculo, não alterando significativamente o perfil fisiológico do fungo e proporcionando taxas de degradação ótimas de pentaclorofenol em solo em relação aos demais agregantes testados. O processo de imobilização utilizado neste projeto mostra-se promissor em relação à outros processos existentes para a imobilização de fungos basidiomicetos, já que sua formulação é simples e requer menos constituintes do que os demais processos descritos na literatura.

**Palavras-chave:** Biodegradação. Organoclorados. Pentaclorofenol. Fungo basidiomiceto. Enzimas ligninolíticas.

## ABSTRACT

OKADA, W.S. **Optimization of the production of *Psilocybe castanella* CCB 444 fungal inoculum for soil bioremediation.** 2010. 138 p. Máster thesis (Biotechnology) – Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Evidences about the loss of efficiency of fungal inoculum during the process of incorporation into the soil due to high degree of friction caused by the blending process and moisture loss, indicate the need for development of a more effective and economically feasible inoculum, that is able to maintain its biological activity during transportation and land application and provide an effective soil remediation. This research project aimed to determine the best formulation of pelleted fungal inoculum of *Psilocybe castanella* to be used in remediation processes of soil contaminated with organochlorines and other pollutants, by improving the inoculum's mechanical strength to abrasion and ensuring the rates of enzyme activity and pollutants degradation in soil. The project, consisted of three phases, evaluated the use of agar-agar, cassava starch and carrageenan on the aggregation of sugarcane bagasse fibers of *P. castanella* inoculum. In order to determine which of these compounds could improve the inoculum's mechanical strength so it could withstand the abrasive conditions encountered during incorporation process, strength assay, enzymatic assay, biomass quantification, analyses of internal and external colonization of the pellet and degradation assay of pentachlorophenol in soil were carried. The addition of these compounds to increase the mechanical strength of fungal inocula did not significantly alter the physiological profile of the fungus. Cassava starch has proved itself capable of providing mechanical strength to the inoculum, not significantly altering the physiological profile of *P. castanella* and obtaining optimal rates of pentachlorophenol degradation in soil compared to other compounds tested. The fungal immobilization procedure used in this project is promising in when compared to other existing processes since its formulation is simple and requires fewer components than other processes.

**Keywords:** Biodegradation. Organochlorine. Pentachlorophenol. Basidiomycete fungus. Ligninolytic enzymes.

## 1 INTRODUÇÃO

Compostos de alta complexidade e estabilidade são caracterizados por serem recalcitrantes e por constituírem um problema crescente e de alta relevância na atualidade. A produção e liberação de compostos sintéticos derivados de indústrias químicas, farmacêuticas, de fertilizantes e de pesticidas culminaram na contaminação de diversas parcelas ambientais.

Tais problemas encontrados atualmente, devido ao uso indiscriminado destes compostos, têm como um dos principais personagens, os poluentes organoclorados. Muitos apresentam elevada toxicidade e são mutagênicos ou carcinogênicos. Representam uma classe de químicos altamente persistentes no meio ambiente, sendo acumulados nos níveis tróficos superiores da cadeia alimentar e trazendo sérios riscos ao meio ambiente e à saúde humana.

No Brasil, um dos casos de maior destaque, onde o estudo em questão está inserido, é o das indústrias instaladas na cidade de Cubatão na década de 1960. A disposição inadequada de resíduos de compostos como pentaclorofenol (PCF) e pentaclorofenato de sódio (NaPCF) culminou na contaminação de diversos municípios próximos à região, numa extensão de 70 km do local de disposição dos resíduos. Parte dos solos contaminados foi removida e armazenada em um local denominado Estação de Espera, onde aguardam tratamento ainda hoje.

Grande parte das tecnologias disponíveis para remoção destes poluentes é de elevado custo e baseia-se em processos de separação e estabilização. Entretanto, tais tecnologias não fornecem uma solução permanente para o problema em questão. Existe apenas uma transferência do contaminante para outro local.

O uso de basidiomicetos degradadores de lignina tem sido em particular, extensivamente estudado, visto que estes organismos apresentam um enorme potencial na degradação de poluentes como bifenilas policloradas, PCF e inúmeros hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e pelo fato de apresentarem alta resistência às condições ambientais adversas. Esta tecnologia apresenta ainda baixo custo de emprego e, além de ser limpa, proporciona soluções permanentes para o problema de poluição ambiental.

Apesar do potencial e das altas expectativas em torno do uso de basidiomicetos para biorremediação, esta tecnologia pouco é apontada como solução para remediação em grandes escalas. Um dos principais fatores determinantes no seu desempenho pouco satisfatório em campo é o desenvolvimento de um inóculo fúngico eficiente. A maioria dos trabalhos publicados

acerca do assunto é direcionada essencialmente para os aspectos fundamentais da degradação de contaminantes por fungos com pouca ou nenhuma atenção aos aspectos aplicados da tecnologia, como a produção de inóculos ou engenharia em campo.

A grande maioria de carreadores descritos na literatura que podem, eventualmente, ser utilizados como inóculo, não é considerada como viável. Estes substratos apresentam reservas nutricionais capazes de ajudar na colonização dos fungos no solo contaminado, mas apresentam baixo potencial de inoculação, são de qualidade inconsistente, de produção relativamente cara e grande parte de seu peso é proveniente de água. Como consequência do baixo potencial de inoculação da maioria dos carreadores disponíveis atualmente, são necessárias vastas quantidades de produção e inoculação (taxas de inoculação entre 10 a 40% de peso seco do solo). Existem ainda, evidências sobre a perda de cerca de 70% de eficiência do inóculo no processo de incorporação ao solo devido ao alto grau de atrito com o mesmo, proporcionado pelo processo de mistura e perda de umidade, tendo em vista a evidente diferença entre as naturezas materiais dos mesmos.

Em tratamentos em escala piloto, a produção de inóculo fúngico ainda não possui um padrão qualitativo de avaliação para que possa ser aperfeiçoada e, apesar da existência algumas publicações científicas relacionadas ao crescimento de basidiomicetos em substrato sólido para esse fim, ainda não se dispõe de um conjunto de dados sobre a fisiologia destes organismos que permita estabelecer padrões para utilização de inóculos em processos de biorremediação. Não somente se faz necessário o estudo da fisiologia desses fungos, quando cultivados para produção de inóculos, como também o desenvolvimento de um inóculo fúngico efetivo e economicamente viável que apresente resistência mecânica à abrasão do solo, mantenha seu potencial durante transporte e aplicação no solo de modo a garantir as taxas de atividade enzimática e de degradação de poluentes no solo.

O presente trabalho está inserido dentro do projeto institucional intitulado “Avaliação do potencial de fungos para a biorremediação de solos contaminados com resíduos organoclorados”, desenvolvido no Laboratório de Micologia Aplicada do Instituto de Botânica de São Paulo. O projeto, fruto de convênio entre a Fundação para o Desenvolvimento da Pesquisa Agropecuária (FUNDEPAG) e a Rhodia Brasil Ltda., vem obtendo em escala laboratorial, resultados promissores no processo de degradação de compostos organoclorados com fungos de podridão branca como *Lentinus crinitus*, *Trametes villosa* e *Psilocybe castanella*. Este último fungo, em

particular, foi utilizado juntamente com *L. crinitus* em uma tentativa de aumento de escala de tratamento de solo contaminado com hexaclorobenzeno (HCB) e PCF. Entretanto, do mesmo modo que grande parte das tecnologias de biorremediação, quando este processo teve sua escala aumentada, os resultados obtidos em laboratório não foram reproduzidos de forma satisfatória. Foram então efetuados estudos que verificaram que um dos fatores diretamente relacionado à obtenção de resultados não satisfatórios é a fragilidade do inóculo fúngico utilizado neste processo. O baixo desempenho observado em escala piloto é causado, principalmente, pelo estresse mecânico à que o fungo é submetido. Este fator, aliado à presença do poluente, acaba por fragilizar muito o microorganismo, impossibilitando-o de se aclimatar e degradar o poluente em questão.

Visto que *Psilocybe catanella* apresenta ótimo desempenho em escala laboratorial e seu desempenho em escala piloto é prejudicado pela fragilidade do inóculo, o objetivo deste trabalho foi procurar otimizar a produção de inóculo fúngico, procurando-se manter os indicadores de desempenho do fungo (atividade enzimática e taxas de degradação de PCF), por meio da adição de agregantes que possam fornecer maior resistência mecânica ao inóculo e contribuir para a manutenção do potencial do fungo após o processo de incorporação do mesmo ao solo em tratamentos de solo em grandes escalas.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

- Como verificado por diversos autores, *Psilocybe castanella* é um ótimo fungo para a degradação de pentaclorofenol em solo. O fungo foi capaz de promover uma redução significativa do poluente, podendo ser utilizado em tratamentos de biorremediação de solos contaminados.
- A adição de agregantes para otimização do aspecto mecânico da produção de inóculos fúngicos de *Psilocybe castanella* não altera significativamente o perfil fisiológico do fungo, apresentando-se, portanto, como potencial solução para o baixo rendimento do inóculo fúngico em processos de remediação de solo.
- Dos agregantes propostos neste projeto, fécula de mandioca mostrou-se capaz de fornecer resistência mecânica ao inóculo, não alterando significativamente o perfil fisiológico do fungo e obtendo taxas de degradação ótimas em relação aos demais agregantes testados.
- O uso da fécula de mandioca como agregante é uma ótima alternativa para a imobilização de *Psilocybe castanella* e, possivelmente, de outros fungos. É de fácil obtenção e de menor custo em relação aos demais agregantes testados neste projeto.
- O processo de imobilização utilizado neste projeto mostra-se promissor em relação à outros processos existentes para a imobilização de fungos basidiomicetos, já que sua formulação é simples e requer menos constituintes do que os demais processos.
- Como perspectiva, é viável o “*scale up*” do processo de biorremediação de solo em biorreatores para confirmação da eficiência de degradação de pentaclorofenol por *Psilocybe castanella*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS<sup>1</sup>

AGARGEL. **Carragena**. Disponível em: <<http://www.agargel.com.br/carragena.html>>. Acesso em: 04 mar. 2010.

ALEXANDER, M. **Biodegradation and bioremediation**. New York: Academic Press, 1999, 453 p.

ALEXOPOULOS, C. J.; MIMS, C. W.; BLACKWELL, M. **Introductory Mycology**. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 1996, 869 pp.

BABUSHOK, V. I.; TSANG, W. Gas-phase mechanism for dioxin formation. **Chemosphere**, v. 51, n. 10, p. 1023-1029, 2003.

BAKER J. I.; HITES, R. A. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in the remote North Atlantic marine atmosphere. **Environ. Sci. Technol.**, v. 33, n. 33, p. 14-20, 1999.

BALDRIAN, B.; GABRIEL, J. Copper and cadmium increase laccase activity in *Pleurotus ostreatus*. **FEMS Microbiol. Lett.** v. 206, p. 69-74, 2002.

BALDRIAN. P.; VALÁŠKOVÁ, V.; MERHAUTOVÁ, V.; GABRIEL, J. Degradation of lignocelluloses by *Pleurotus ostreatus* in the presence of copper, manganese, lead and zinc. **Res. Microbiol.**, v. 156, n. 5-6, p. 670-676, 2005.

BALLAMINUT, N. **Caracterização fisiológica do inóculo de *Lentinus crinitus* (L.) Fr. CCB 274 empregado em biorremediação de solo**. 176 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) - Instituto de Botânica, São Paulo, 2007.

BALLAMINUT, N.; MATHEUS, D. R. Characterization of fungal inoculum used in soil bioremediation. **Braz. J. Microbiol.**, v. 38, p. 248-252, 2007.

<sup>1</sup>De acordo com:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.



BAO, W.; FUKUSHIMA, Y.; JENSEN, K. A. J. R.; MOEN, M. A.; HAMMEL, K. E. Oxidative degradation of non-phenolic lignin during lipid peroxidation by fungal manganese peroxidase. **FEBS Lett.**, v. 354, p. 297-300, 1994.

BARAJAS-ACEVES, M.; HASSAN, M.; TINOCO, R.; VAZQUEZ-DUHALT, R. Effect of pollutants on the ergosterol content as indicator of fungal biomass. **J. Microbiol. Methods.**, v. 50, p. 227-236, 2002.

BARR, D. P.; AUST, S. D. Mechanisms white rot fungi use to degrade pollutants. **Environ. Sci. Technol.**, v. 28, n. 2, p. 78-87, 1994.

BENTO, F. M.; CAMARGO, F. A. O.; OKEKE, B. C.; FRANKENBERGER, W. T. Comparative bioremediation of soils contaminated with diesel oil by natural attenuation, biostimulation and bioaugmentation. **Bioresour. Technol.**, v. 96, p. 1049-1055, 2005.

BOLLAG, J. M.; CHU, H. L.; RAO, M. A.; GIANFREDA, L. Enzymatic oxidative transformation of chlorophenol mixtures. **J. Environ. Qual.**, v. 32, p. 63-69, 2003.

BOURBONNAIS, R.; PAICE, M. G. Oxidation of non-phenolic substrates: An expanded role for laccase in lignin biodegradation. **FEBS Lett.**, v. 267, p. 99-102, 1990.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional de Segurança Química (CONASQ). **Perfil Nacional da gestão de substâncias químicas**. Brasília, 2003. 382 p.

BRASIL ESCOLA. Página da internet. Disponível em: <<http://www.brasilescola.com/matematica/cilindro.htm>>. Acesso em: 18/08/2010. Figura.

BREEN, A.; SINGLETON, F. L. Fungi in lignocellulose breakdown and biopulping. **Curr. Opin. Biotechnol.**, v. 10, p. 252-258, 1999.

BRUNOW, G. Methods to reveal the structure of lignin. In: HOFRICHTER, M.; STEINBÜCHEL, A. (Ed.). **Lignin, Humic Substances and Coal**. Germany: Wiley-VCH, 2001. p. 89-116.

BUMPUS, J. A.; AUST, S. D. Biodegradation of environmental pollutants by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*: Involvement of the lignin degrading system. **Bioessays**, v. 6, p. 166-170, 1985.

CAIRNEY, J. W. G.; BURKE, R. M. Do ecto- and ericoid mycorrhizal fungi produce peroxidase activity. **Mycorrhiza**, v. 8, p. 61-65, 1998.

CAVALLAZI, J. R. P.; KASUYA, C. M.; SOARES, M. A. Screening of inducers for laccase production by *Lentinula edodes* in liquid medium. **Braz. J. Microbiol.**, v. 36, p. 383-387, 2005.

CHAUDHRY, G. R.; CHAPALAMADUGU, S. Biodegradation of halogenated organic compounds. **Microbiol. Rev.**, v. 55, n. 1, p. 59-79, 1991.

CHO, Y-G.; RHEE, S-K.; LEE, S-T. Effect of oil moisture on bioremediation of chlorophenol-contaminated soil. **Biotechnol. Lett.**, v. 22, p. 915-90, 2000.

CLAUS, H. Laccases: structure, reactions, distribution. **Mícron.**, v. 35, p. 93-96, 2004.

CLAUS, H.; FABER, G.; KONIG, H. Redox-mediated decolorization of synthetic dyes by fungal laccases. **Appl. Microbiol. Biotechnol.**, v. 59, p. 672-678, 2002.

COELHO, G. D. **Purificação parcial do sistema enzimático produzido por *Psilocybe castanella* CCB 444 durante crescimento em solo.** 124 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) - Instituto de Botânica, São Paulo, 2007.

COLLINS, P. J.; DOBSON, A. D. W. Regulation of laccase gene transcription in *Trametes versicolor*. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 63, p. 3444-3450, 1997.

COMPART, L. C. A. **Suporte cerâmico para Imobilização de Basidiomicetos em Biorremediação de Solos.** 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 2004.

COMPART, L. C. A.; MACHADO, K. M. G.; MATHEUS, D. R.; CARDOSO, A. V. Immobilization of *Psilocybe castanella* on ceramic (slate) supports and its potential for soil bioremediation. **World J. Microbiol. Biotechnol.**, v. 23, p. 1479-1483, 2007.

DEMAIN, A. L. Regulation of secondary metabolism in fungi. **Pure Appl. Chem.**, v. 58, p. 219-226, 1986.

DURÁN, N.; ESPOSITO, E. Potential applications of oxidative enzymes and phenoloxidase-like compounds in wastewater and soil treatment: a review. **Appl. Catal. B: Environ.**, v. 28, p. 83-99, 2000.

EGGEN, T.; SVEUM, P. DDT degradation by chemical oxidation and white rot fungi. In: MAGAR, V. S.; VON FAHNSTOCK, F. M.; LEESON, A. (Ed.). **Ex situ biological treatment technologies**. Columbus: Battelle Press, 2001. p. 157-164.

EGGERT, C.; TEMP, U.; DEAN, J. F. D.; ERIKSSON, K. E. L. A fungal metabolite mediates degradation of non-phenolic lignin structures and synthetic lignin by laccase. **FEBS Lett.**, v. 391, p. 144-148, 1996.

EVANS, C. S.; HEDGER, J. N. Degradation of plant cell wall polymers. In: GADD, G. M. (Ed.). **Fungi in bioremediation**. Cambridge: University Press, British Mycological Society, 2001. p. 1-24.

FABBRINI, M.; GALLI, C.; GENTILI, P. Comparing the catalytic efficiency of some mediators of laccase. **J. Mol. Cat., B Enzym.**, v. 16, p. 231-240, 2002.

FOGHT, J.; APRIL, T.; BIGGAR, K.; AISLABIE, J. Biorremediation of TNT-contaminated soils: a review. **Biorremediation J.**, v. 5, n. 3, p. 225-246, 2001.

FREIRE, R. S.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L. T.; DURÁN, N. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Quim. Nova**, v. 23, n. 4, p. 504-511, 2000.

GLENN, J. K.; GOLD, M. H. Decolorization of Several Polymeric Dyes by the Lignin-Degrading Basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 45, n. 6, p. 1741-1747, 1983.

GLENN, J. K.; MORGAN, M. A.; MAYFIELD, M. B.; KUWAHARA, M.; GOLD, M. H. An extracellular H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-requiring enzyme preparation involved in lignin biodegradation by the white rot basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. **Biochem. Biophys. Res. Commun.**, v. 114, p. 1077-1083, 1983.

GONZALES, L.; HERNÁNDEZ, J. R.; PERESTELO, F.; CARNICERO, A.; FALCÓN, M. A. Relationship between mineralization of synthetic lignins and the generation of hydroxyl

radicals by laccase and a low molecular weight substance produced by *Petriellidium fusoidium*. **Enzyme Microb. Technol.**, v. 30, p. 474-481, 2002.

GOWTHAMAN, M. K.; KRISHNA, C.; MOO-YOUNG, M. Fungal solid state fermentation – An overview. In: KHACHATOURIANS, G. G.; ARORA, D. K. (Ed.). **Applied Mycology and Biotechnology**. The Netherlands: Elsevier, 2001, p. 305-352.

GUGLIOTTA, A. M. **Utilização de basidiomicetos nativos na remoção de corantes em efluentes da indústria têxtil em São Paulo**. 115 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas - Microbiologia Aplicada) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

GUTIÉRREZ, A. **Exopolissacarídios y metabolitos aromáticos de *Pleurotus*: Naturaleza y función en la degradación de la lignina**. Ph. D. Thesis - Universidad de Sevilla, Sevilla, 1995.

HAKALA, K. T.; LUNDELL, T.; GALKIN, S.; MAIJALA, P.; KALKKINEN, N.; HATAKKA, A. Manganese peroxidases, laccases and oxalic acid from the selective white-rot fungus *Physisporinus rivulosus* grown on spruce wood chips. **Enzyme Microb. Technol.**, v. 36, p. 461-468, 2005.

HALSALL, C. J.; BAILEY, R.; STERN, G. A.; BARRIE, L. A.; FELLIN, P.; MUIR, D. C. G.; ROSENBERG, B.; ROVINSKY, F. Y.; KONONOV, E. Y.; PASTUKHOV, B. Multi-year observations of organohalogen pesticides in the Arctic atmosphere. **Environ. Pollut.**, v. 102, p. 51-62, 1998.

HAMMEL, K. E.; TIEN, M.; KALYANARAMAN, B.; KIRK, T. K. Mechanism of oxidative C $\alpha$ -C $\beta$  cleavage of a lignin model dimer by *Phanerochaete chrysosporium* ligninase: Stoichiometry and involvement of free radicals. **J. Biol. Chem.**, v. 260, p. 8348-8353, 1985.

HATAKKA, A. Biodegradation of lignin. In: HOFRICHTER, M.; STEINBÜCHEL, A. (Ed.). **Lignin, Humic Substances and Coal**. Germany: Wiley-VCH, 2001, p. 129-179.

HATAKKA, A. Lignin-modifying enzymes from selected white-rot fungi: production and role in lignin degradation. **FEMS Microbiol. Rev.**, v. 13, p.125-35, 1994.

HATAKKA, A.; VARES T.; BOCCHINI, P.; GALLETTI, G. C. **Production of lignin degrading enzymes on solid straw medium by *Phanerochaete chrysosporium* and**

*Ceriporiopsis subvermispora*. San Francisco, CA TAPPI, **Biol. Sci. Symp.**, TAPPI, 1997. p. 19-23.

HESS, J.; LEITNER, C.; GALHAUP, C.; KULBE, K. D.; HINTERSTOISSER, B.; STEINWENDER, M.; HALTRICH, D. Enhanced formation of extracellular laccase activity by the white-rot fungus *Trametes multicolor*. **Appl. Biochem. Biotechnol.**, v. 98, p. 229-241, 2002.

HIGUCHI, T. Microbial degradation of lignin: Role of lignin peroxidase, manganese peroxidase, and laccase. **Proc. Jpn. Acad. Ser. B.**, v. 80, p. 204-214, 2004.

HÖFER, C.; SCHLOSSER, D. Novel enzymatic oxidation of  $Mn^{2+}$  to  $Mn^{3+}$  catalyzed by a fungal laccase. **FEBS Lett.**, v. 451, p. 186-190, 1999.

HOFRICHTER, M. Review: lignin conversion by manganese peroxidase (MnP). **Enzyme Microb. Technol.**, v. 30, p. 454-466, 2000.

HÖLKER, U.; HÖFER, M.; LENZ, J. Biotechnological advantages of laboratory-scale solid-state fermentation with fungi. **Appl. Microbiol. Biotechnol.**, v. 64, p. 175-186, 2004.

JIANG, X.; ZENG, G.; HUANG, D.; CHEN, Y.; LIU, F.; HUANG, G.; LI, J.; XI, B.; LIU, H. Remediation of pentachlorophenol-contaminated soil by composting with immobilized *Phanerochaete chrysosporium*. **World J. Microbiol. Biotechnol.**, v. 22, p. 909-913, 2006.

JOHANNES, C.; MAJCHERCZYK, A.; HUTTERMANN, A. Degradation of anthracene by laccase of *Trametes versicolor* in the presence of different mediator compounds. **Appl. Microbiol. Biotechnol.**, v. 46, p. 313-317, 1996.

JOLIVALT, C.; BRENON, S.; CAMINADE, E.; MOUGIN, C.; PONTIE, M. Immobilization of laccase from *Trametes versicolor* on a modified PVDF microfiltration membrane: characterization of the grafted support and application in removing a phenylurea pesticide in wastewater. **J. Membr. Sci.**, v. 180, p. 103-113, 2000.

KAPICH, A.; HOFRICHTER, M.; VARES, T.; HATAKKA, A. Coupling of manganese peroxidase-mediated lipid peroxidation with destruction of nonphenolic lignin model compounds and  $^{14}C$ -labeled lignins. **Biochem. Biophys. Res. Commun.**, v. 259, p. 212-219, 1999.

KERSTEN, P. J.; TIEN, M.; KALYANARAMAN, B.; KIRK, T. K. The ligninase of *Phanerochaete chrysosporium* generates cation radicals from methoxybenzenes. **J. Biol. Chem.**, v. 260, p. 2609-2612, 1985.

KIRK, P. M.; CANNON, P. F.; DAVID, J. C.; STALPERS, J. 2001. **Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi**. 9th ed. Wallingfor, United Kingdom: CAB International, 2001, 655 p.

KIRK, T. K. Effects of microorganisms on lignin. **Annu. Rev. Phytopathol.**, v. 9, p. 185-210, 1971.

KIRK, T. K. Lignin degradation: basic research progress, and applications in soil remediation and biopulping. In: KENNEDY, J. F.; PHILLIPIS, G. O.; WILLIAMS, P. A. (Ed.). **Cellulosics: Pulp, fibre and environmental aspects**. New York: Ellis Horwood, 1993. p. 421-430.

KIRK, T. K.; FARRELL, R. L. Enzymatic "combustion": The microbial degradation of lignin. **Annu. Rev. Microbiol.** v. 41, p. 465-505, 1987.

KIRK, T. K.; SCHULTZ, E.; CONNORS, W. J.; LORENZ, L. F.; ZEIKUS, J. G. Influence of culture parameters on lignin metabolism by *Phanerochaete chrysosporium*. **Arch. Microbiol.**, v. 117, p. 277-285, 1978.

KIRK, T. K.; SHIMADA, M. Lignin biodegradation: The microorganisms involved and the physiology and biochemistry of degradation by white-rot fungi. In: HIGUCHI, T. (Ed.). **Biosynthesis and biodegradation of wood components**. San Diego: Academic Press, 1985. p. 579-605.

KÜENZI, M. T. Regulation of cephalosporin synthesis in *Cephalosporium acremonium* by phosphate and glucose. **Arch. Microbiol.**, v. 128, p. 78-83, 1980.

KUWAHARA, M.; GLENN, J. L.; MORGAN, M. A.; GOLD, M. H. Separation and characterization of two extracellular H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-dependent oxidases from ligninolytic cultures of *Phanerochaete chrysosporium*. **FEBS Lett.**, v. 169, p. 247-250, 1984.

LAMAR, R. T.; DAVIS, M. W.; DIETRICH, D. M.; GLASER, J. A. Treatment of a pentachlorophenol- and creosote- contaminated soil using the lignin-degrading fungus

*Phanerochaete sordida*: a field demonstration. **Soil Biol. Biochem.**, v. 26, p. 1603-1611, 1994.

LAMAR, R. T.; DIETRICH, D. M. *In situ* depletion of pentachlorophenol from contaminated soil by *Phanerochaete* ssp. **Appl. Environ. Microbiol.** v. 56, p. 3093-3100, 1990.

LAMAR, R. T.; GLASER, J. A.; KIRK, T. K. Fate of pentachlorophenol (PCP) in sterile soils inoculated with white-rot basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*: mineralization, volatilization and depletion of PCP. **Soil Biol. Biochem.**, v. 22, p. 433-440, 1990.

LAMAR, R. T.; WHITE, R. B. Mycorremediation – Comercial status and recent developments. In: MAGAR, V. S.; VON FAHNESTOCK, F. M.; LEESON, A. (Ed.). **Ex situ biological treatment technologies**. Columbus: Battelle Press, 2001. p. 263-278.

LEONOWICZ, A.; MATUSZEWSKA, A.; LUTEREK, J.; ZIEGENHAGEN, D.; WOJTAS-WASILEWSKA, M.; CHO, N. S.; HOFRICHTER, M.; ROGALSKI, J. Biodegradation of lignin by white-rot fungi. **Fungal Genet. Biol.**, v. 27, p. 175-185, 1999.

LESTAN, D.; LAMAR, R. T.. Development of fungal inocula for bioaugmentation of contaminated soils. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 62, n. 6, p. 2045-2052, 1996.

LESTAN, D.; LAMAR, R. T. Influence of humidity on production of pelleted fungal inoculum. **World J. Microbiol. Biotechnol.**, v. 15, p. 349-357, 1999.

LESTAN, D.; LESTAN, M.; CHAPELLE, J.A.; LAMAR, R. Biological potential of fungal inocula for bioaugmentation of contaminated soils. **J. Ind. Microbiol.**, v. 16, p. 286-294, 1996.

LITCHFIELD, C. Thirty Years and Counting: Bioremediation in Its Prime? **BioSci.**, v. 55, n. 3, p. 273-279, 2005.

LOW, J. Y. S.; ABDULLAH, N.; VIKINESWARY, S. Evaluation of support materials for immobilization of *Pycnoporus sanguineus* mycelia for laccase production and biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. **Res. J. Environ. Sci.**, v. 3, n. 3, p. 357-366, 2009.

MACHADO, K. M. G. **Biodegradação de pentaclorofenol por fungos basidiomicetos ligninolíticos em solos contaminados por resíduos industriais**. 144 f. Tese (Doutorado em

Ciências Biológicas – Microbiologia Aplicada) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.

MACHADO, K. M. G.; MATHEUS, D. R. Biodegradation of Remazol Brilliant Blue R by ligninolytic enzymatic complex produced by *Pleurotus ostreatus*. **Braz. J. Microbiol.**, v. 37, p. 468-473, 2006.

MACHADO, K. M. G.; MATHEUS, D. R.; BONONI, V. L. R. Ligninolytic enzymes production and Remazol Brilliant Blue R decolorization by tropical brazilian basidiomycetes fungi. **Braz. J. Microbiol.**, v. 36, p. 246-252, 2005.

MACHADO, K. M. G.; MATHEUS, D. R.; BONONI, V. L. R.; MONTEIRO, R. T. R. Biodegradation of pentachlorophenol by tropical basidiomycetes in soils contaminated with industrial residues. **World J. Microbiol. Biotechnol.**, v. 21, n. 3, p. 297-301, 2005.

MAJCHERCZYK, A.; JOHANNES, C. Radical mediated indirect oxidation of a PEG-coupled polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) model compound by fungal laccase. **Biochem. Biophys. Acta**, v. 1474, p. 157-162, 2000.

MARTÍNEZ, Á. T.; SPERANZA, M.; RUIZ-DUEÑAS, F. J.; FERREIRA, P.; CAMARERO, S.; GUILLÉN, F.; MARTÍNEZ, M. J.; GUTIÉRREZ, A.; DEL RIO, J. C. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. **Int. Microbiol.**, v. 8, p. 195-204, 2005.

MATHEUS, D. M.; BONONI, V. L. R.; MACHADO, K. M. G.; SILVA, R. R.; RODRIGUES, T. A. Growing basidiomycetes in bioreactors to be applied to bioremediation of HCB in soil. In: MAGAR, V. S.; KELLEY, M. E. (Ed.). ***In situ and On-Site Bioremediation***. Proceedings of the Seventh International *In situ* and On-Site Bioremediation Symposium. Orlando: Battelle Press, Paper G5, 2003.

MATHEUS, D. R. **Biorremediação de solos contaminados com compostos organoclorados e biodegradação de hexaclorobenzeno por basidiomicetos brasileiros**. 161 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Microbiologia Aplicada) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.

MATHEUS, D. R. **Otimização da biodegradação de hexaclorobenzeno por fungos basidiomicetos em solos contaminados com resíduos industriais**. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Microbiologia Aplicada) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.



MATHEUS, D. R.; BONONI, V. L. R. C/N Ratio and vegetable oil to mineralize  $^{14}\text{C}$  hexachlorobenzene by white-rot-fungi. In: MONTEREY GAVASKAR, A. R.; CHEN, A. S. C. **Remediation of chlorinated and recalcitrant compounds**. Monterey, CA, Paper 2B-10, 2002.

MATHEUS, D. R.; BONONI, V. L. R.; MACHADO, K. M. G. New basidiomycetes on bioremediation of organochlorine contaminated soil. In: MAGAR, V.; LEESON, A. (Ed.). **Bioremediation of energetics, phenolics and polycyclic aromatic hydrocarbons**. Columbus: Battelle Press, 2001. p. 99-106.

MATHEUS, D. R.; BONONI, V. L. R.; MACHADO, K. M. G. Biodegradation of hexachlorobenzene by basidiomycetes in soil contaminated with industrial residues. **World J. Microbiol. Biotechnol.**, v.16, p. 415-421, 2000.

MATHEUS, D. R.; MACHADO, K. M. G. Biorremediação: potencial de aplicação para os POPs. In: FERNÍCOLA, N. A. G. G.; OLIVEIRA, S. S. (Ed.). **Poluentes Orgânicos Persistentes – POPs**. Salvador: CRA, 2002, p. 479-500.

MATHEUS, D. R.; OKINO, L. K. Utilização de basidiomicetos em processos biotecnológicos. In: BONONI, V. L. R.; GRANDI, R. A. P. (Ed.). **Zigomicetos, basidiomicetos e deuteromicetos – noções básicas de taxonomia e aplicações biotecnológicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, Secretaria de Estado de Meio Ambiente, 1998. 184p.

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

MCALLISTER, K. A.; LEE, H.; TREVORS, J. T. Microbial degradation of pentachlorophenol. **Biodegradation**, v. 7, p. 1-40, 1996.

MEUNIER, B. Catalytic degradation of chlorinated phenols. **Science**, v. 296, p. 270-271, 2002.

MONTGOMERY, H. J.; MONREAL, C. M.; YOUNG, J. C.; SEIFERT, K. A. Determination of soil fungal biomass from soil ergosterol analyses. **Soil Biol. Biochem.**, v. 32, p. 1207-1217, 2000.

MORALES, I. C.; PAZOS, C. B. Pentaclorofenol: toxicología y riesgos para el ambiente. **Mad. Bosq.**, v. 4, p. 21-37, 1998.

MOREIRA-NETO, S. L. **Enzimas ligninolíticas produzidas por *Psilocybe castanella* CCB 444 em solo contaminado com hexaclorobenzeno.** 124 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) - Instituto de Botânica, 2006.

MROZIK, A; PIOTROWSKA-SEGET, Z. Bioaugmentation as a strategy for cleaning up of soils contaminated with aromatic compounds. **Microbiol. Res.**, v. 165, p. 363-375, 2009.

NANNIPIERI, P.; BOLLAG, J. M. Use of enzymes to detoxify pesticide-contaminated soils and waters. **J. Environ. Qual.**, v. 20, p. 510-517, 1991.

NORTHCOTT, G. L.; JONES, K. C. Experimental approaches and analytical techniques for determining organic compound bound residues in soil and sediment. **Environ. Pollut.**, v. 108, p. 19-43, 2000.

OKINO, L. K. **Atividade ligninolítica de basidiomicetos brasileiros.** 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Microbiologia Aplicada) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1996.

OKINO, L. K.; MACHADO, K. M. G.; FABRIS, C.; BONONI, V. L. R. Ligninolytic activity of tropical rainforest basidiomycetes. **World J. Microbiol. Biotechnol.**, v. 16, p. 889-893, 2000.

PAPINUTTI, V. L.; DIORIO, L. A.; FORCHIASSIN, F. Production of laccase and manganese peroxidase by *Fomes sclerodermeus* grown on wheat bran. **J. Ind. Microbiol. Biotechnol.**, v. 30, p. 157-160, 2003.

POINTING, S. B. Feasibility of bioremediation by white-rot fungi. **Appl. Microbiol. Biotechnol.**, v.57, p. 20–33, 2001.

POZDNYAKOVA, N. N.; RODAKIEWICZ-NOWAK, J.; TURKOVSKAYA, O. V. Catalytic properties of yellow laccase from *Pleurotus ostreatus* D1. **J. Mol. Catal. B.**, v. 30, p. 19-24, 2004.

PUGLISI, E.; NICELLI, M.; CAPRI, E.; TREVISAN, M.; DEL RE, A. A. M. Cholesterol,  $\beta$ -Sitosterol, Ergosterol, and Coprostanol in Agricultural Soils. **J. Environ. Qual.**, v. 32, p. 466-471, 2003.

RABINOVICH, M. L.; BOLOBOVA, A. V.; VASILCHENCO, L. G. Fungal decomposition of natural aromatic structures and xenobiotics: A review. **Appl. Biochem. Microbiol.**, v. 40, n. 1, p. 1-17, 2004.

REDDY, G. V. B.; GELPKE, M. D. S.; GOLD, M. H. Degradation of 2,4,6-trichlorophenol by *Phanerochaete chrysosporium*: Involvement of Reductive Dechlorination. **J. Bacteriol.**, v. 180, n. 19, p. 5159-5164, 1998.

REDDY, G. V. B.; GOLD, M. H. Degradation of pentachlorophenol by *Phanerochaete chrysosporium*: intermediates and reactions involved. **Microbiology**, v. 146, p. 405-413, 2000.

RODRIGUES, T. A. **Estudo da interação biosortiva entre o corante reativo Procion Blue MXG e as linhagens CCB 004, CCB 010 e CCB 650 de *Pleurotus ostratus* paramórfico.** 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Microbiologia Aplicada) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

RÜTTIMANN, C.; SCHWEMBER, E.; SALAS, L.; CULLEN, D.; VICUÑA, R. Ligninolytic enzymes of the white-rot basidiomycetes *Phlebia brevispora* and *Ceriporiopsis subvermispora*. **Biotechnol. Appl. Biochem.**, v. 6, p. 64-76, 1992.

RYVARDEN, L. E GILBERTSON, R. L. **European Polypores.** Oslo: Fungiflora, 387 p., 1993.

SAMPEDRO, I.; CAJTHAML, T.; MARINARI, S.; STAZI, S.R.; GREGO, S.; PETRUCCILOLO, M.; FEDERICI, F.; D'ANNIBALE, A. Immobilized Inocula of White-Rot Fungi Accelerate both Detoxification and Organic Matter Transformation in Two-Phase Dry Olive-Mill Residue. **J. Agric. Food Chem.**, v. 57, p. 5452–5460, 2009.

SAPARRAT, M.; GUILLÉN, F.; ARAMBARRI, A. M.; MARTINEZ, A. T.; MARTINEZ, M. J. Induction, Isolation, and Characterization of Two Laccases from the White Rot Basidiomycete *Coriolopsis rigida*. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 68, n. 4, p. 1534-1540, 2002.

SCHMID, P.; KOHLER, M.; GUJER, E.; ZENNEGG, M.; LANFRANCHI, M. Persistent organic pollutants, brominated flame retardants and synthetic musks in fish from remote alpine lakes in Switzerland. **Chemosphere.**, v. 67, p. S16-S21, 2007.

SCHMIDT, K. R.; CHAND, S.; GOSTOMSKI, P. A.; BOYD-WILSON, K. S. H.; FORD, C.; WALTER, M. Fungal inoculum properties and its effect on growth and enzyme activity of *Trametes versicolor* in soil. **Biotechnol. Prog.**, v. 21, p. 377-385, 2005.

SCHOEMAKER, H.E. On the chemistry of lignin biodegradation. **Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas.**, v. 109, p. 255-272, 1990.

SCHULTZ, A.; JONAS, U.; HAMMER, E.; SCHAUER, F. Dehalogenation of chlorinated hydroxybiphenyls by fungal laccase. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 67, p. 4377-4381, 2001.

SEDARATI, M. R.; KESHAVARZ, T.; LEONTIEVSKY A. A.; EVANS, C. S. Transformation of high concentrations of chlorophenols by the white-rot basidiomycetes *Trametes versicolor* immobilized on nylon mesh. **Electronic J. Biotechnol.**, v. 6, p. 1-11, 2003.

SEMPLE, K. T.; REID, B. J.; FERMOR, T. R. Review: Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants. **Environ. Pollut.**, v. 112, p. 269-283, 2001.

SHAN, V.; NERUD, F. Lignin degrading system of white-rot fungi and its exploitation for dye decolorization. **Can. J. Microbiol.**, v. 48, p. 857-870, 2002.

SHAH, V.; BALDRIAN, P.; EICHLEROVA, I.; DAVE, R.; MADAMWAR, D.; NERUD, F.; GROSS, R. Influence of dimethyl sulfoxide on extracellular enzyme production by *Pleurotus ostreatus*. **Biotechnol. Lett.**, v. 28, p. 651-655, 2006.

SILVA, R. R. **Biorremediação de solos contaminados com organoclorados por fungos basidiomicetos em biorreatores.** 187 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente), Instituto de Botânica, São Paulo, 2009.

SILVA, R. R. **Ergosterol para a determinação de biomassa de fungos *Lentinus crinitus* Berk e *Psilocybe castanella* Peck em biorremediação de solos.** 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Microbiologia Aplicada), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

SILVA, R. T.; CORSO, C. R.; MATHEUS, D. R. Effect of culture conditions on the biomass determination by ergosterol of *Lentinus crinitus* and *Psilocybe castanella*. **World J. Microbiol. Biotechnol.**, v. 26, p. 841-846, 2010.

SOARES, G. M. B.; AMORIM, M. T. P.; HRDINA, R.; COSTA-FERREIRA, M. Studies on the biotransformation of novel disazo dyes by laccase. **Process. Biochem.**, v. 37, p. 581-587, 2002.

SRINIVASAN, C.; D'SOUZA, T. M.; BOOMINATHAN, K.; REDDY, C. A. Demonstration of laccase in the white-rot basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium* BKM-F1767. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 61, p. 4274-4277, 1995.

SWOBODA-COLDEBERG, N. G. Chemical contamination of the environment: sources, types, and fate of syntetic organic chemicals. In: YOUNG, L. Y.; CERNIGLIA, C. E. (Ed.). **Microbial transformation and degradation of toxic organic chemicals**. New York: Wiley-Liss, 1995. p. 27-74.

TIEN, M.; KIRK, T. K. Lignin-degrading enzyme from *Phanerochaete chrysosporium*: purification, characterization, and catalytic properties of a unique H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-requiring oxygenase. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, v. 81, p. 2280-2284, 1984.

TIMMIS, K. N.; PIEPER, D. H. Bacteria designed for bioremediation. **Trends. Biotechnol.**, v. 17, p. 200-204, 1999.

TORRES, E.; BUSTOS-JAIMES, I.; LE BORGNE, S. Potential use of oxidative enzymes for the detoxification of organic pollutants. **Appl. Catal. B-Environ.**, v. 46, p. 1-15, 2003.

TUOR U.; WARIISHI, H.; SCHOEMAKER, H. E.; GOLD, M. H. Oxidation of phenolic arylglycerol beta-aryl ether lignin model compounds by manganese peroxidase from *Phanerochaete chrysosporium*: oxidative cleavage of an alpha-carbonyl model compound. **Biochemistry.**, v. 31, p. 4986- 4995, 1992.

UNITED STATES. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health. National Toxicology Program (NTP). **Toxicology and Carcinogenesis Studies of Pentachlorophenol (CAS NO. 87-86-5) in F334/N Rats (Fedd Studies)**. Technical Report Series No. 483. NIH Publication No. 97-3973. North Carolina: Research Triangle Park, 232 p., 1999.

UNITED STATES. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **Toxicological Profile for Pentachlorophenol**. Atlanta, GE, 2001. 316 p.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **A citizen's guide to bioremediation**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/superfund/sites>> <<http://clu.in.org>>. Acesso em: 08 mar. 2010.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **Test methods for evaluating solid wastes. SW-846**. 3rd. ed. Washington, DC, 1983.

VIEIRA, S.; HOFFMANN, R. **Estatística Experimental**. São Paulo: Atlas. 179 p., 1989.

VIKINESWARY, S.; ABDULLAH, N.; RENUVATHANI, M.; SEKARAN, M.; PANDEY, A.; JONES, E. B. G. Productivity of laccase in solid substrate fermentation of selected agro-residues by *Pycnoporus sanguineus*. **Bioresour. Technol.**, v. 97, p. 171-177, 2006.

WALTER, M.; BOUL, L.; CHONG, R.; FORD, C. Growth substrate selection and biodegradation of PCP by New Zealand white-rot fungi. **J. Env. Management.**, v. 71, p. 361-369, 2004.

WATANABE, T.; KATAYAMA, S.; ENOKI, M.; HONDA, Y.; KUWAHARA, M. Formation of acyl radical in lipid peroxidation of linoleic acid by manganese dependent peroxidase from *Ceriporiopsis subvermispora* and *Bjerkandera adusta*. **Eur. J. Biochem.**, v. 267, p. 4222-4231, 2000.

WESENBERG, D.; KYRIAKIDES, I.; AGATHOS, S. N. White-rot fungi and their enzymes for the treatment of industrial dye effluents. **Biotechnol. Adv.**, v. 22, p. 161-187, 2003.

WHITE, R. B.; LAMAR, R. T. Degrading Ability of White Rot Fungi: Bioremediation of Pentachlorophenol and Lindane. **Soil and Groundwater cleanup**. Salt Lake City: EarthFax Engineering, 11 p., 1999.

WOLSKI E. A.; MURIALDO S. E.; GONZALES J. F. Effect of pH and inoculum size on pentachlorophenol degradation by *Pseudomonas* sp. **Water S.A.**, v. 32, p. 1-5, 2006.

WOOD, T. M.; GARCIA-CAMPAYO, V. 1994. Enzymes and mechanisms involved in microbial cellulolysis In: RATLEDGE, C. (Ed.). **Biochemistry of Microbial Degradation**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1994. p. 197-231.