

DEGRADAÇÃO DE AGROTÓXICOS POR FUNGOS BASIDIOMICETOS EM SOLO AGRÍCOLA CONTENDO ALTOS NÍVEIS DE TRÊS PRODUTOS DIFERENTES

PRISCILA M. DELLAMATRICE*

LILIAN S. COSTA**

ALANA S. MARQUES***

MILENA S. VIANA****

RINALDO S. ARAÚJO*****

Estudou-se a degradação de solo agrícola contaminado por longo tempo de aplicação de agrotóxicos (paraquate, clorotalonil e deltametrina) pelos fungos basidiomicetos *Pleurotus ostreatus* e *Phanerochete chrysosporium* com e sem uso de surfactantes. Determinou-se a degradação dos três produtos em meio de cultura pelos fungos, sendo testados vários substratos para inoculação dos fungos ao solo. As enzimas produzidas durante a degradação também foram avaliadas. Todos os produtos foram degradados em meio de cultura em porcentagens variadas de maneira sequencial. O período de maior degradação revelou a maior quantidade de enzimas, sendo o bagaço de caju o substrato com maior crescimento fúngico e produção de enzimas. Verificou-se degradação completa do herbicida paraquate no solo na presença de surfactantes. A degradação do clorotalonil foi acelerada pela presença do surfactante e só ocorreu após a degradação do paraquate. O inseticida deltametrina, que apresentava menor concentração no solo, foi o substrato menos degradado. Houve maior produção de enzimas no início do crescimento fúngico, quando o herbicida paraquate foi degradado.

PALAVRAS-CHAVE: BIORREMEDIAÇÃO; PARAQUATE; CLOROTALONIL; DELTAMETRINA; FUNGOS BASIDIOMICETOS; ENZIMA; SURFACTANTES.

* PHD em Ecotoxicologia, Laboratório de Tecnologia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Fortaleza, CE (e-mail: priscila@ifce.edu.br).

** Pós-Graduanda em Tecnologia em Gestão Ambiental, Laboratório de Tecnologia Ambiental, IFCE, Fortaleza, CE (e-mail: lilian.ifce@yahoo.com.br).

*** Formanda em Tecnologia em Gestão Ambiental, Laboratório de Tecnologia Ambiental, IFCE, Fortaleza, CE (e-mail: alanaifce@gmail.com).

**** Formanda em Processos Químicos, Laboratório de Tecnologia Ambiental, IFCE, Fortaleza, CE (e-mail: milenaramil@hotmail.com).

***** Doutor em Química, Laboratório de Tecnologia Química, IFCE, Fortaleza, CE (e-mail: rinaldo@ifce.edu.br).

1 INTRODUÇÃO

Os agrotóxicos constituem um dos grupos mais representativos de poluentes no ambiente, devido ao seu uso intensivo na agricultura em quantidades elevadas, cujos produtos de degradação podem se acumular no solo (CHOUDHORY *et al.*, 2008). A matriz do solo está constantemente interagindo com outros compartimentos e assim sua poluição pode propagar contaminantes diretamente para as águas superficiais e subterrâneas e também para o ar (CONTE *et al.*, 2005).

Preocupação crescente em áreas agrícolas com intenso uso de agrotóxicos envolve a ocorrência de solos contaminados com altas concentrações dos princípios ativos desses produtos (ARTHUR *et al.*, 2000). Locais contaminados frequentemente contêm numerosos poluentes, os quais podem constituir risco para a saúde humana, de animais e para o meio ambiente.

A biodegradação, processo natural de degradação de um xenobiótico por um organismo, constitui estratégia de sobrevivência, pois provê carbono e energia para o crescimento e reprodução dos micróbios (DUA *et al.* 2002).

O uso de micro-organismos (fungo ou bactéria) naturalmente presentes no ambiente, ou introduzidos para degradar poluentes chama-se biorremediação. Micro-organismos podem degradar numerosos poluentes orgânicos devido à sua maquinaria metabólica e capacidade para se adaptarem em ambientes desfavoráveis (EL FANTROUSSI e AGATHOR, 2005). Biorremediação *in situ* envolve o tratamento de locais contaminados com poluentes mediante aplicação de micro-organismos e de nutrientes para melhorar o processo de biodegradação desses compostos (YOUNES e GALAL-GORCHEN, 2000).

A biodegradação de determinado contaminante depende da disponibilidade do produto para os organismos que irão promover a degradação. Muitos dos produtos mais recalcitrantes apresentam baixa degradação devido sua hidrofobicidade. Tem sido aceito que somente agrotóxicos presentes na solução do solo estão disponíveis para a ação microbiana (MATA-SANDOVAL, KANS e TORRENTS, 2002). Para resolver o problema da hidrofobicidade e limitada disponibilidade de alguns agrotóxicos, surfactantes são utilizados visando aumentar o contato do produto com os micro-organismos e elevar as taxas de degradação.

Surfactantes são compostos anfipáticos que podem reduzir a tensão superficial de compostos orgânicos hidrofóbicos e insolúveis, aumentando sua solubilidade, mobilidade, disponibilidade e conseqüentemente sua biodegradação. Apresentam uma extremidade polar e outra apolar, sendo a primeira hidrofílica e a segunda lipofílica (IGLESIAS-GIMENEZ, SANCHEZ-MARTIN e SANCHEZ-CAMAZANO, 1996).

Vários compostos apresentaram degradação acelerada na presença de surfactantes, tais como endossulfan (JAYASHREE e VASUDVAN, 2009), creosoto (ATAGANA, HAYNES e WALLIS, 2005), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (KOSARIC, 2001), pentaclorofenol (MULLIGAN e EFTEKHARIE, 2003) e hexadecano (NOORDMAN *et al.*, 2002).

Os fungos basidiomicetos, devido à produção de exoenzimas de largo espectro, são conhecidos pela capacidade de degradar ampla faixa de compostos aromáticos, halogenados e não halogenados (GADD, 2001). Assim, a biorremediação de solos agrícolas contaminados com vários produtos diferentes empregados no cultivo agrícola seria possível com o uso desses organismos.

O objetivo deste trabalho foi a utilização de fungos basidiomicetos para a remediação de solo agrícola contendo altos níveis de agrotóxicos (devido ao longo tempo de uso), aplicando-se surfactantes para aumentar a degradação desses produtos no solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 SOLO

O solo estudado foi coletado em área agrícola com intenso uso de agrotóxicos, no município

de Tianguá, região noroeste do estado do Ceará. Análises desse solo mostraram contaminação em diferentes concentrações do inseticida deltametrina, do herbicida paraquate e do fungicida clorotalonil, os quais vinham sendo aplicados regularmente na referida área. As concentrações encontradas para os agrotóxicos paraquate, chlorotalonil e deltametrina foram 7,76; 2,0 e 0,31 $\mu\text{g.g}^{-1}$ solo, respectivamente. Esse solo, classificado como areia quartzosa distrófica, continha os seguintes teores dos elementos (mg.dm^{-3}): P 138; K 230; Ca 2,2; Mg 1,2 e Na 11. O pH de 5,4, mesmo sendo ligeiramente ácido não foi corrigido, pois nesse caso pode favorecer o crescimento fúngico.

2.2 MICRO-ORGANISMOS

Foram estudados os fungos basidiomicetos *Pleurotus ostreatus* e *Phanerochaete crysosporium*, pertencentes à Coleção de Culturas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP). Os fungos foram cultivados em meio sólido malte ágar (2% malte e 0,2% extrato de levedura) e incubados a 28°C durante oito dias para sua utilização nos experimentos.

2.3 TESTE DE TOXICIDADE COM OS TRÊS AGROTÓXICOS

Avaliou-se o crescimento dos fungos *P. ostreatus* e *P. crysosporium* na presença dos agrotóxicos paraquate, clorotalonil e deltametrina, em três concentrações (10, 25 e 50 $\mu\text{g.mL}^{-1}$) em meio de cultura sólido (meio de Pontecorvo), segundo metodologia de Marinho *et al.* (2011), medindo-se o diâmetro dos fungos aos 3, 5, 7 e 9 dias.

2.4 DEGRADAÇÃO DOS AGROTÓXICOS PELOS FUNGOS EM MEIO DE CULTURA

Os fungos *P. ostreatus* e *P. crysosporium* foram inoculados em meio de Pontecorvo (150 mL), contendo os três produtos (paraquate, clorotalonil e deltametrina) como única fonte de carbono na concentração de 10 $\mu\text{g.mL}^{-1}$, conforme descrito por Silva e Monteiro (2000). Análises da degradação dos agrotóxicos por cromatografia a gás e produção da enzima manganês peroxidase foram efetuadas após 10 e 14 dias.

2.5 EXTRAÇÃO DOS AGROTÓXICOS DO MEIO DE CULTURA

Para extração dos três produtos do meio de cultura empregou-se o sistema de fase sólida, utilizando colunas C18 (HARRIS, 2007). Efetuou-se o condicionamento da coluna com 5 mL de hexano, 5 mL de metanol e 1 mL de água deionizada. O meio de cultura, na quantidade de 25 mL, foi aplicado e, em seguida, eluído com 5mL da mistura de metanol/acetato de etilana na proporção 1:1. Os extratos foram concentrados e injetados no cromatógrafo a gás nas condições descritas no item 2.8.

2.6 DEGRADAÇÃO DOS AGROTÓXICOS NO SOLO PELOS FUNGOS BASIDIOMICETOS COM USO DE SURFACTANTES

O solo contaminado com os três agrotóxicos foi inoculado com os fungos *P. ostreatus* e *P. crysosporium*, com e sem surfactante, e a degradação avaliada. Aplicou-se o biossurfactante em amostras de 100 g de solo, sendo a umidade (70% da capacidade de campo) corrigida com sua aplicação. Cultivou-se o inóculo sobre o bagaço de caju, usando 5 g desse substrato. Efetuaram-se análises da degradação por cromatografia a gás e produção da enzima manganês peroxidase aos 7, 15 e 30 dias de incubação (ARAÚJO e MONTEIRO, 2006).

2.7 TESTE COM SUBSTRATOS PARA INOCULAÇÃO DOS FUNGOS

Testaram-se três substratos para o crescimento e a inoculação dos fungos basidiomicetos

ao solo, dentre os quais o bagaço de cana, o bagaço de caju e o bagaço de coco, buscando obter maior eficiência na colonização do solo e também o reaproveitamento desses materiais. Avaliou-se o crescimento fúngico e a produção da enzima manganês peroxidase após 10 dias de incubação (KAMIDA *et al.*, 2005).

2.8 ANÁLISES QUÍMICAS NO SOLO

Para a extração dos três agrotóxicos do solo utilizou-se metodologia multirresíduo, baseada em Tadeo *et al.* (2010), sendo 5 g de solo extraídos com acetato de etila (10 mL) sob sonicação por 30 minutos e depois concentrados. As amostras foram injetadas em cromatógrafo a gás Perkin Elmer, com temperatura do injetor de 250°C, da coluna inicialmente em 100°C por 1 min e rampa de 23,5°C/min até 280°C por 12 minutos e temperatura no detector de 320°C. Utilizou-se fluxo de gases de 6 mL.min⁻¹ para H₂ e 30 mL.min⁻¹ para N₂.

2.9 PRODUÇÃO DE SURFACTANTES

O surfactante foi produzido microbiologicamente a partir da bactéria *Pseudomonas aeruginosa*, incubada em meio LB contendo 1% de óleo de babaçu, durante 48 h em shaker a 150 rpm (ROBERT *et al.*, 1989). Na aplicação ao solo utilizou-se o líquido metabólico, após centrifugação a 3500 rpm por 7 min.

2.10 ATIVIDADE ENZIMÁTICA

Para a análise da enzima manganês peroxidase no solo realizou-se a extração com 30 mL de acetato de sódio (50 mM) em 10 g de solo (3:1). Após agitação, a amostra foi centrifugada e o sobrenadante utilizado para as análises. A reação foi efetuada com 50 µL de Mn SO₄, 50 µL de H₂O₂ em tampão succinato, 100 µL de lactato de Na, 200 µL de albumina bovina, 600 µL de sobrenadante e 100 µL de vermelho de fenol. A leitura da absorbância ocorreu a 610 nm (KUWAHARA *et al.*, 1984).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 TESTE COM SUBSTRATOS PARA INOCULAÇÃO DOS FUNGOS

Dentre os resíduos testados, o bagaço de caju apresentou maior crescimento fúngico. Esse substrato com elevado teor de açúcares, fonte de energia de fácil absorção, pode ter favorecido o crescimento dos fungos. Por outro lado, o menor crescimento fúngico ocorreu com o bagaço de coco, que contém o menor teor de açúcares. O bagaço de cana, embora apresente alto teor de açúcares, é mais fibroso que o bagaço de caju devido ao maior teor de celulose e mais pobre nutricionalmente. O bagaço de caju também se mostrou como o melhor substrato para a produção de enzimas (Tabela 1).

TABELA 1 – PRODUÇÃO DE ENZIMAS PARA OS TRÊS SUBSTRATOS TESTADOS

Substratos	<i>P. ostreatus</i>		<i>P. cryosporium</i>	
	UI.g ⁻¹	UI.5g ⁻¹	UI.g ⁻¹	UI.5g ⁻¹
Bagaço de caju	0,4	2	0,28	1,41
Bagaço de cana	0,09	0,46	0,07	0,38
Bagaço de coco	0	0	0,07	0,38

3.2 TESTE DE TOXICIDADE COM OS TRÊS AGROTÓXICOS

O inseticida deltametrina e o herbicida paraquate não apresentaram efeito tóxico sobre o fungo *Pleurotus ostreatus* nas três concentrações testadas (10, 25 e 50 $\mu\text{g/mL}$). Somente o fungicida clorotalonil causou inibição do crescimento desse micro-organismo, mas não causou a morte do fungo. O maior efeito tóxico ocorreu na concentração de 25 $\mu\text{g/mL}$, sendo mais elevado que na concentração de 50 $\mu\text{g/mL}$ em que o fungo mostrou maior resistência (Figura 1). O fungo *P. crysosporium* não foi inibido na presença de nenhum dos três agrotóxicos testados, sendo mais resistente ao fungicida clorotalonil. Resultados semelhantes foram obtidos por Nwachukwu e Osuji (2007), tendo o fungo basidiomiceto *Lentinus subnudus* mostrado alta tolerância a elevadas concentrações dos agrotóxicos metolacolor, heptacolor e atrazina.

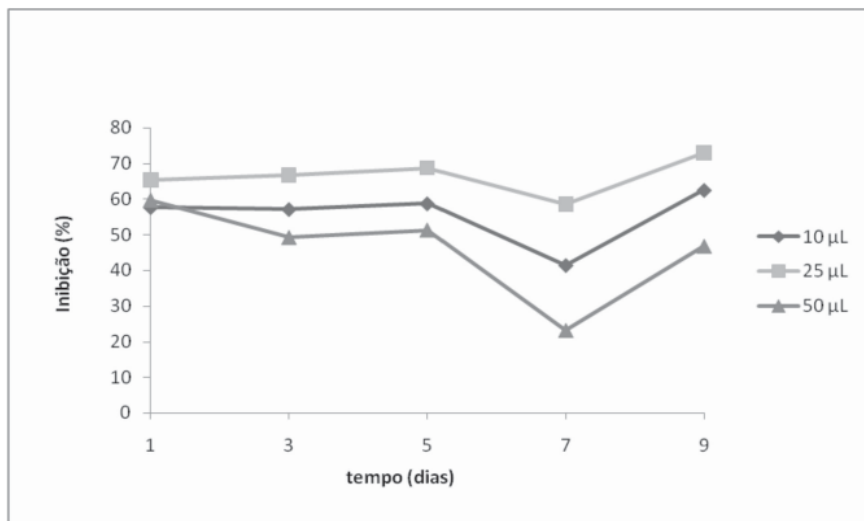


FIGURA 1 – INIBIÇÃO DO FUNGO *P. Ostreatus* POR CLOROTALONIL

3.3 DEGRADAÇÃO DOS AGROTÓXICOS PELOS FUNGOS EM MEIO DE CULTURA

A degradação dos três agrotóxicos em meio de cultura pelo fungo *P. ostreatus* ocorreu em porcentagens variadas, sendo o inseticida deltametrina completamente degradado no período de 10 dias. Para o herbicida paraquate, a degradação foi de 65,57% até 10 dias e não significativa após esse período. O fungicida clorotalonil não se degradou até 10 dias, porém aos 14 dias a degradação foi de 81,87%. A degradação dos agrotóxicos ocorreu em períodos sequenciais, sendo os produtos mais persistentes degradados após a exaustão dos primeiros. A meia-vida da deltametrina na água varia de 11 a 72 dias (curta) e a do paraquate de apenas 13 h. A meia-vida do clorotalonil varia de 1 a 3 meses, sendo a mais persistente entre os produtos estudados.

O fungo *P. crysosporium* degradou completamente todos os agrotóxicos avaliados no período de 10 dias. O crescimento desse fungo no meio de cultura foi mais rápido em relação ao *P. ostreatus*, causando degradação em menor tempo.

A mistura de agrotóxicos monoaromáticos (diuron, metalaxil, atrazina e terbutilazina) foi degradada em meio de cultura pelos fungos basidiomicetos *Coriolus versicolor*, *Hypholoma fasciculare* e *Stereum hirsutum* em porcentagens variadas, sendo a degradação de metalaxil de 44% e a dos outros produtos de 86% (BENDING, FRILOUX e WALKER, 2002).

Degradação completa de vários agrotóxicos (imazalil, tiofanato-metílico, orto-fenilfenol, difenilamina e clorpirifós) pelos fungos *Pleurotus ostreatus* e *Trametes versicolor*, na concentração de 10 mg.L^{-1} , foi constatada por KARAS *et al.* (2011).

Fungos basidiomicetos foram capazes de degradar os produtos 3,4-dicloroanilina, dieldrin e fenantreno, sendo que o fungo *Trametes versicolor* causou a maior degradação seguido por

Chrysosporium lignorum e *Phanerochaete crysosporium* (MORGAN, LEWIS e WATKINSON, 1991).

3.4 PRODUÇÃO DE ENZIMAS EM MEIO DE CULTURA

Detectou-se para o fungo *P. ostreatus* maior quantidade da enzima manganês peroxidase aos 10 dias, cerca de 1,5 UI para 150 mL de meio de cultura, enquanto aos 14 dias esse valor caiu para 0,66 UI. A produção de enzimas ocorreu concomitantemente com a degradação, sendo maior no décimo dia. Para o fungo *P. crysosporium* não foi detectada a enzima em ambos os períodos estudados, indicando que após a degradação total dos produtos não houve mais produção de enzimas.

No estudo da degradação do herbicida Bentazon por *Phanerochaete crysosporium*, a enzima manganês peroxidase mostrou-se necessária para a degradação (CASTILLO *et al.*, 2000). A enzima manganês peroxidase foi correlacionada com a degradação da mistura de produtos (imazalil, tiofanato-metílico, orto-fenilfenol, difenilamina e clorpirifós) pelos fungos *Pleurotus ostreatus* e *Trametes versicolor*. Aumento na degradação de isoproturon também foi observada por Castillo *et al.* (2001) na presença de manganês peroxidase.

3.5 DEGRADAÇÃO DOS AGROTÓXICOS NO SOLO PELOS FUNGOS BASISIOMICETOS COM USO DE SURFACTANTES

Observou-se degradação completa do herbicida paraquate pelos fungos ao final de 42 dias de incubação com a aplicação do surfactante (Figura 2). O surfactante aumentou significativamente a degradação do herbicida, sendo a degradação para *P. ostreatus* e *P. crysosporium* sem surfactante de 56,86% e 39,76%, respectivamente. O paraquate apresenta forte sorção ao solo e o surfactante foi capaz de aumentar a disponibilidade do produto à degradação.

O pesticida clorotalonil só foi degradado a partir dos 30 dias, sendo a degradação por *P. crysosporium* de 85,52% e 40,57%, com e sem surfactante, respectivamente. Para *P. ostreatus*, mais eficiente, a degradação foi de 87,10% e 100% com e sem surfactante, respectivamente. O clorotalonil somente foi utilizado como substrato pelo fungo após a degradação do paraquate.

O pesticida deltametrina não foi degradado significativamente em relação ao controle (3,5%), embora apresente baixa persistência. Sua concentração muito baixa no solo não foi suficiente para o crescimento do fungo. Assim, produtos com maior concentração no solo são degradados primeiramente pelos fungos que os utilizam como substrato para seu crescimento (Tabela 2).

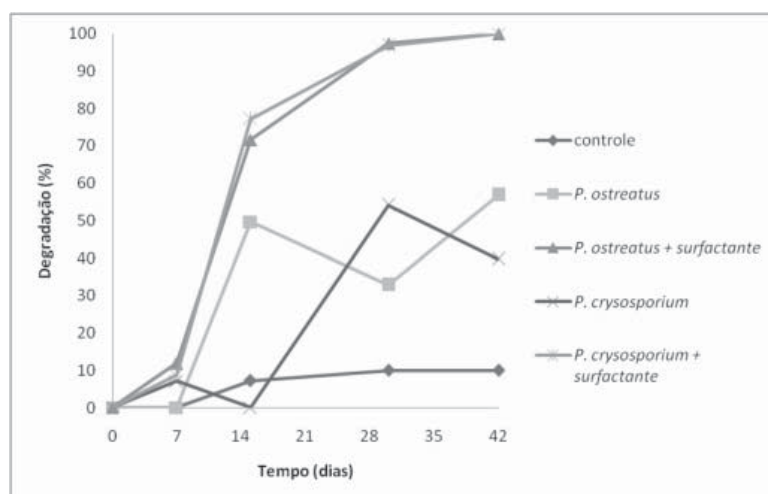


FIGURA 2 – DEGRADAÇÃO DO HERBICIDA PARAQUATE PELOS FUNGOS *P. ostreatus* E *P. crysosporium* COM E SEM SURFACTANTE

TABELA 2 – PORCENTAGEM DE DEGRADAÇÃO DOS AGROTÓXICOS DELTAMETRINA, CLOROTALONIL E PARAQUATE PELOS FUNGOS *P. ostreatus* E *P. crysosporium* COM E SEM SURFACTANTE APÓS 42 DIAS

	Deltametrina	Clorotalonil %	Paraquate
Controle	3,5	7,09	9,95
<i>P.ostreatus</i>	0,22	100	56,86
<i>P. ostreatus</i> + surfactante	0	87,10	100
<i>P. crysosporium</i>	3,36	40,52	39,76
<i>P. crysosporium</i> + surfactante	0	85,52	100

Diferentes grupos de agrotóxicos (simazina, dieldrin e trifluralina) em diversas concentrações foram degradados por *Phanerochaete crysosporium* e *Trametes versicolor*, sendo obtida degradação completa para dieldrin e trifluralina, enquanto simazina mostrou degradação de 80% (FRAGOEIRO e MAGAN, 2005). Conforme Nwachukwu e Osuji (2007), o fungo basidiomiceto *Lentinus subnudus* mostrou alta capacidade para biorremediação de solo contaminado com os produtos atrazina, heptacloro e metolacloro.

3.6 PRODUÇÃO DE ENZIMAS NO SOLO

Verificou-se maior produção da enzima manganês peroxidase pelo fungo *P. ostreatus* na presença do surfactante (Figura 3). A partir de 30 dias não se detectou mais enzima no solo, época em que a maior parte da degradação do paraquate já havia ocorrido. O fungicida clorotalonil foi degradado após esse período, não ocorrendo atividade enzimática durante sua degradação.

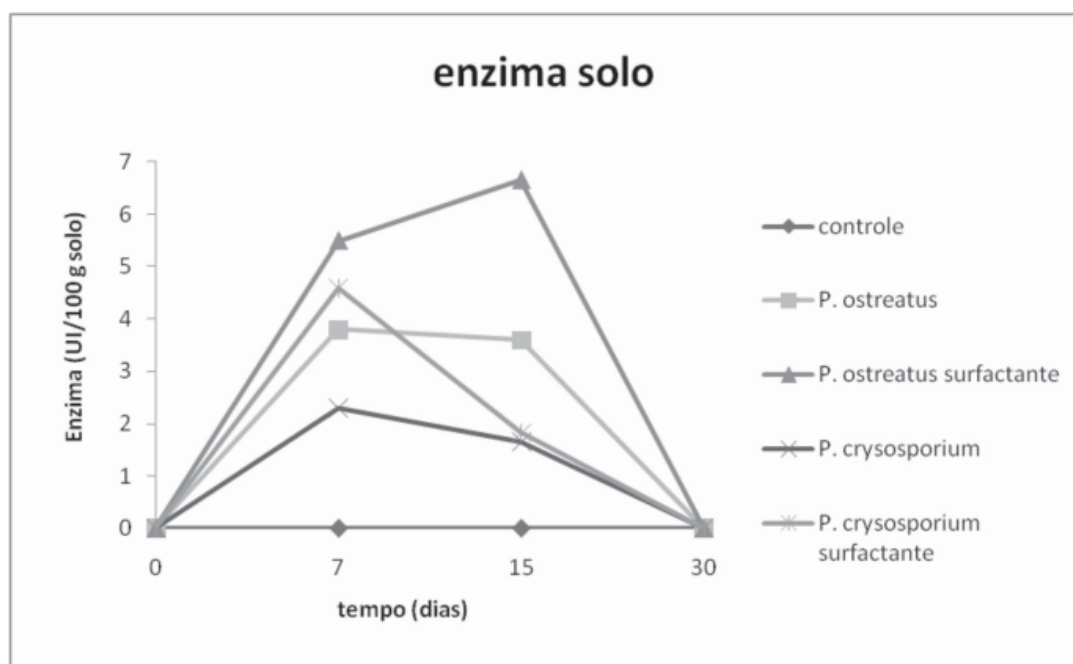


FIGURA 3 – PRODUÇÃO DA ENZIMA MANGANÊS PEROXIDASE NO SOLO PELOS FUNGOS *P. ostreatus* E *P. crysosporium* COM E SEM SURFACTANTE

4 CONCLUSÃO

O bagaço de caju mostrou-se substrato eficiente para o crescimento fúngico e a produção de enzimas, sendo indicado como inoculante na biorremediação de solos.

Os fungos basidiomicetos apresentaram capacidade para degradar os três agrotóxicos estudados em meio de cultura, sendo adequados para biorremediação de áreas contaminadas com vários produtos. A degradação ocorreu primeiramente nos agrotóxicos com menor meia-vida, evidenciando que o fungo degradou os três produtos de maneira sequencial.

No solo, o biossurfactante aumentou a degradação do paraquate e do clorotalonil. Na presença do surfactante, os fungos mostraram eficiência para degradar agrotóxicos mesmo adsorvidos ao solo. O inseticida deltametrina, presente em baixa concentração, foi o produto menos degradado.

Os fungos basidiomicetos são eficientes para a biorremediação de solos agrícolas com alto teor residual de agrotóxicos, sendo a degradação acelerada com o uso de surfactantes.

ABSTRACT

DEGRADATION OF PESTICIDES WITH PROLONGED UTILIZATION IN AGRICULTURAL SOIL BY WHITE ROT FUNGI

In the present work was studied the degradation of an agricultural soil contaminated by long-term use of pesticides (paraquat, deltamethrin and chlorothalonil) by white rot fungi *Pleurotus ostreatus* and *Phanerochaete chrysosporium*, with and without use of surfactants. The degradation of the three products was determined in growth medium by fungi, and several substrates were tested for inoculate the fungi into the soil. Enzymes produced during degradation were also evaluated. All three pesticides were degraded in growth medium in different percentages and sequentially. The period of greatest degradation presented higher amount of enzymes, and the inoculant substrate with the highest fungal growth and enzyme production was cashews bagasse. Complete degradation of the herbicide paraquat on the soil was observed in the presence of surfactants. The degradation of chlorothalonil was accelerated by the presence of surfactant and only occurred after degradation of paraquat. The pesticide deltamethrin, that had a lowest concentration in the soil, was the less degraded subtract. The enzymes were produced in greater quantities at the beginning of fungal growth, where the pesticide paraquat was degraded.

KEY-WORDS: BIOREMEDIATION; PARAQUAT; CHLOROTHALONIL; DELTAMETHRIN; WHITE ROT FUNGI; ENZYME; SURFACTANTS.

REFERÊNCIAS

- 1 ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Microbial biomass and activity in a Brazilian soil amended with untreated and composted textile sludge. **Chemosphere**, v. 64, p. 1043-1046, 2006.
- 2 ARTHUR, E.L.; PEROVICH, B.S.; ANDERSON, T.A.; COATS, J.R. Degradation of an atrazine and metolachlor herbicide mixture in pesticide contaminated soils from two agrochemical dealerships in Iowa. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 119, p. 79-90, 2000.
- 3 ATAGANA, H. I.; HAYNES, R. J.; WALLIS, F. M. The use of surfactants as possible enhancers in bioremediation of creosote contaminated soil. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 142, p. 137-149, 2003.
- 4 BENDING, B.D.; FRILLOUX, M.; WALKER, A. Degradation of contrasting pesticides by white rot fungi and its relationship with ligninolytic potential. **FEMS Microbiology Letters**, v. 212, p. 59-63, 2002.
- 5 CASTILLO, M.P.; ANDER, P.; STENSTROM, J.; TORSTENSSON, L. Degradation of the herbicide bentazon as related to enzyme production by *Phanerochaete chrysosporium* in two solid substrate fermentation systems. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v.16, p. 289-295, 2000.
- 6 CASTILLO, M. P.; LEHR, S.W.; SCHEUNERT, I.; TORSTENSSON, L. Degradation of isoproturon by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. **Biology and Fertility of Soils**, v. 33, p. 521-528, 2001.
- 7 CHOWDHURY, A.; PRACHAN, S.; SOHO, M.; SANJAL, N. Impact of pesticide on soil microbiology parameters and possible bioremediation strategies. **Indian Journal of Microbiology**, v. 48, p. 114-127, 2008.

- 8 CONTE, P.; AGRETTO, A.; SPACCINI, R.; PICCOLO, A. Soil remediation humic acids as natural surfactants in the washings of highly contaminated soils. **Environmental Pollution**, v. 135, p. 515-522, 2005.
- 9 DUA, M.; SINGH, A.; SETHUNATHAN, N.; JOHN, A.K. Biotechnology and bioremediation: success and limitations. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 59, p. 143-152, 2002.
- 10 GADD, G. **Fungi in bioremediation**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001. 496 p. (British Mycological Society Symposium Series, 23).
- 11 EL FANTROSSI, S.; AGATHOR, S.N. Is bioaugmentation a feasible strategy for pollutant removal and site remediation. **Current Opinion in Microbiology**, v. 8, p. 268-275, 2005.
- 12 FRAGOEIRO, S.; MAGAN, N. Enzymatic activity, osmotic stress and degradation of pesticide mixture in soil extract liquid broth. **Environmental Microbiology**, v. 7, p. 348-355, 2005.
- 13 HARRIS, D. C. **Quantitative chemical analyses**. 7thed. New York: Freeman & Company, 2007.
- 14 IGLESIAS-JIMENEZ, E.; SANCHEZ-MARTIN, M.J.; SANCHEZ-CAMAZANO, M. Pesticide adsorption in a soil water system in the presence of surfactant. **Chemosphere**, v. 32, p. 1771-1782, 1996.
- 15 JAYASHREE, R.; VASUDHAN, N. Effect of Tween 80 and moisture regimes on endosulfan degradation by *Pseudomonas aeruginosa*. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 7, p. 35-44, 2009.
- 16 KAMIDA, H.M.; DURRANT, L.R.; MONTEIRO, R.T.R.; ARMAS, E.D. Biodegradação de efluente têxtil por *Pleurotus sajor-caju*. **Química Nova**, v. 28, p. 629-632, 2005.
- 17 KARAS, P.A.; PENUCHOU, C.; EXARHOU, K.; EHALIOTIS, C.; KARPOUZAS, D. G. Potential for bioremediation of agro-industrial effluents with high loads of pesticides by selected fungi. **Biodegradation**, v. 22, p. 215-228, 2011.
- 18 KOSARIC, N. Biosurfactants and their application for soil bioremediation. **Food Technology and Biotechnology**, v. 39, p. 295-304, 2001.
- 19 KUWAHARA, M.; GLENN, J.K.; MORGAN, M.A.; GOLD, M.H. Separation and characterization of two extracellular H₂O₂ dependent oxidases from lignolytic cultures of *Phanerochaete chrysosporium*. **FEBS Letter**, v.169, p. 247-250, 1984.
- 20 MARINHO, G.; RODRIGUES, K.; ARAUJO, R.; PINHEIRO, Z.B.; SILVA, G.M.M. Glucose effect on degradation kinetics of methyl-parathion by filamentous fungi species *Aspergillus niger* AN400. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 6, p.225-230, 2011.
- 21 MATA-SANDOVAL, T.; KANS, J.; TORRENTS, A. Influence of rhamnolipids and triton X-100 on the desorption of pesticides from soils. **Environmental Science Technology**, v. 36, p. 4669-4675, 2002.
- 22 MORGAN, P.; LEWIS, S.T.; WATKINSON, R.J. Comparison of abilities of white-rot fungi to mineralize selected xenobiotic compounds. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.34, p.693-696, 1991.
- 23 MULLIGAN, C.N.; EFTEKHARIE, F. Remediation with surfactant foam of PCP-contaminated soil. **Engineering Geology**, v. 70, p. 269-279, 2003..
- 24 NWACHUKWU, E.O.; OSUJI, J.O. Bioremedial degradation of some herbicides by indigenous white rot fungus, *Lentinus subnudus*. **Journal of Plant Sciences**, v. 2, p. 619-624, 2007.
- 25 NOORDMANN, W. H.; WACHTER, J. H.; BOER, G.J.; JANSSEN, D.B. The enhancement by surfactants of hexadecane degradation by *P. aeruginosa* varies with substrate availability. **Journal of Biotechnology**, v. 94, p. 195-212, 2002.
- 26 ROBERT, M.; MARCADÉ, M.E.; BOSCH, M.P.; PARRA, J.L.; ESPINY, M.J.; MANRESA, M.A.; GUINEA, J. Effect of the carbon source on biosurfactant production by *Pseudomonas aeruginosa* 44T1. **Biotechnology Letters**, v. 11, p. 871-874, 1989.
- 27 SILVA, J. H.; MONTEIRO, R.T.R. Degradação de xenobióticos por fungos filamentosos isolados de areia fenólica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 669-674, 2000.

- 28 TADEO, J.L.; SÁNCHEZ-BRUNETE, C.; ALBERO, B.; GARCIA-VALCÁRCEL, A.I. Application of ultrasound assisted extraction to the determination of contaminants in food and soil samples. **Journal of Chromatography A**, v. 1217, p. 2415-2440, 2010.
- 29 YOUNES, M.; GALAL-GORCHEN, H. Pesticides in drinking-water – a case study. **Food and Chemical Toxicology**, v. 38, p. 87-90, 2000.