

VI-164 - USO DA BIOAUMENTAÇÃO PARA REMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR ÓLEO DIESEL

Marcelo Luís Kronbauer⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental e Mestre em Tecnologias Ambientais pela Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC. Professor nas áreas de engenharia junto ao Centro Universitário – UNIVATES e Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC.

Diosnel Antônio Rodriguez Lopez⁽²⁾

Engenheiro de Minas pela Universidade Federal de Ouro Preto, mestrado em Programa de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e doutorado em Eng. de Materiais, Metalúrgia e Meio Ambiente - *Technische Universität Berlin*.

Adriana Bee⁽³⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC.

Valéria Boetcheher⁽⁴⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC.

Endereço⁽¹⁾: Av. Independência, 1810, Bloco B, apto. 802 – Independência - Santa Cruz do Sul - RS - CEP: 96816-010 - País - Tel: +55 (51) 999617290 - e-mail: marcelolkronbauer@gmail.com.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a bioaumentação com dois consórcios de micro-organismos como forma de remediação de um solo contaminado por óleo diesel em escala laboratorial. Os consórcios foram formados a partir de cepas previamente isoladas em um sistema de remediação de solos contaminados. A seleção dos micro-organismos foi realizada com base em sua capacidade de degradação do óleo diesel, estudada por meio do uso do indicador redox 2,6-Diclorofenol-indofenol. O primeiro consórcio, C1 foi composto pelas bactérias *B. pumilus*, *B. subtilis* e *B. licheniformis*. O segundo consórcio, C2, foi composto pelas mesmas bactérias anteriormente citadas e o fungo *Aspergillus fumigatus*. Os hidrocarbonetos totais de petróleo foram degradados pelos consórcios C1 e C2, respectivamente, em 35% e 62% destes compostos. Estes valores mostram que consórcios de fungos são mais efetivos na degradação de moléculas orgânicas de elevado peso molecular, como as contidas no óleo diesel, do que os consórcios puramente bacterianos.

PALAVRAS-CHAVE: Bioaumentação, biorremediação, hidrocarbonetos, solos contaminados.

INTRODUÇÃO

O transporte e a distribuição de combustíveis derivados de petróleo (óleo diesel, gasolina e outros) representam atividades de elevado risco ambiental principalmente em função da possibilidade de acidentes durante o transporte e de vazamentos devidos a estocagem inadequada. Em eventos como esses, compostos orgânicos de baixa solubilidade em água se dissolvem gradualmente, formando plumas de águas poluídas na direção do fluxo da água, contaminando todo o volume do aquífero (Meira, 2007).

Manzochi (2001) acompanhou atividades operacionais de abastecimento e descarga de combustíveis, troca de óleo e lavagem de veículos em um posto de abastecimento de combustíveis de Florianópolis (SC), ele alerta que, carregado pela chuva, o material derramado pode contaminar o solo e a água, atingindo rios, lençóis freáticos e galerias de águas pluviais. Considerando o vazamento de 10 mL por dia, durante um ano, haverá comprometimento de 3 milhões de litros de água. A extensão da contaminação depende do vazamento e das condições do local onde o posto esta instalado, como o tipo de solo da região e as características do material e por onde escoar a água subterrânea.

O monitoramento destas contaminações pode ser realizado a partir de análises por cromatografia gasosa. De acordo com Mariano (2008), o óleo diesel contém de 2000 a 4000 hidrocarbonetos, uma mistura complexa de alcanos normais, ramificados e cíclicos e os compostos aromáticos, obtidos a partir da fração do meio-distilado durante a separação de petróleo. Alguns destes compostos podem ser utilizados como indicadores para a avaliação do processo de degradação do óleo diesel. Os compostos poliaromáticos fornecem também uma ferramenta útil para monitorar alterações ambientais. Alguns desses compostos no diesel estão entre os

menos afetados pelos processos de intemperismo. Estes compostos semi-voláteis, com uma baixa solubilidade e características recalcitrantes podem persistir durante um longo período de tempo no ambiente.

Considerando-se a poluição e toxicidade de hidrocarbonetos de petróleo, o desenvolvimento de uma estratégia eficaz e ambientalmente amigável para reduzi-la ainda permanece um desafio. A crescente pressão dos órgãos reguladores ambientais tem motivado as empresas a desenvolver tecnologias limpas, com destaque para a tecnologia de biorremediação (FERNÁNDEZ-LUQUEÑO et al., 2011).

As estratégias de biorremediação incluem: a utilização de micro-organismos autóctones, ou seja, do próprio local, sem qualquer interferência de outras tecnologias ativas de remediação, conhecida como biorremediação intrínseca ou natural; a adição de agentes estimulantes como nutrientes, oxigênio e surfactantes, processo conhecido como bioestimulação e a inoculação de consórcios microbianos enriquecidos, denominados de bioaumentação (BENTO et al., 2001).

A biodegradação de hidrocarbonetos complexos geralmente requer a cooperação de mais de uma espécie. Isto é particularmente verdadeiro em poluentes que são constituídos de muitos compostos diferentes, tais como o petróleo bruto. Micro-organismos individuais podem metabolizar apenas uma gama limitada de substratos de hidrocarbonetos. Por outro lado, grupos de micro-organismos (populações mistas) com grandes capacidades enzimáticas são necessárias para viabilizar uma elevada taxa e extensão da biodegradação dos derivados de petróleo (GHAZALI et al., 2004).

A bioaumentação tem várias vantagens em relação a outras técnicas. Quando uma população microbiana específica é injetada o processo de degradação pode começar imediatamente, enquanto que, o bioestímulo, por exemplo, envolve um período de latência após a injeção de nutrientes enquanto a população microbiana se propaga. Os nutrientes também não são específicos, de modo que todos os micro-organismos potencialmente se propagam, diluindo o efeito dos nutrientes (ALISI et al., 2009).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a bioaumentação com dois consórcios de micro-organismos como forma de remediação de um solo contaminado por óleo diesel em escala laboratorial. Os consórcios foram formados a partir de cepas previamente isoladas em um sistema de remediação de solos contaminados. A seleção dos micro-organismos foi realizada com base em sua capacidade de degradação do óleo diesel, estudada por meio do uso do indicador redox 2,6-Diclorofenol-indofenol. O primeiro consórcio, C1 foi composto pelas bactérias *B. pumilus*, *B. subtilis* e *B. licheniformis*. O segundo consórcio, C2, foi composto pelas mesmas bactérias anteriormente citadas e o fungo *Aspergillus fumigatus*.

METODOLOGIA

O solo utilizado foi classificado, utilizando uma peneira com abertura de 2 mm, removendo os materiais mais grosseiros, como folhas, raízes e torrões, tendo assim sua granulometria mais uniforme. Para caracterização físico-química do solo, o mesmo foi quarteado para permitir a retirada de uma amostra representativa do mesmo. Esse procedimento possibilitou a repetição dos experimentos sem comprometer a representatividade dos resultados. A caracterização foi realizada em duplicata nos laboratórios da seguindo a metodologia da ROLAS – Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

Para a realização dos testes de biodegradação o solo foi inicialmente inertizado em autoclave a 121°C, a 1 atm de pressão por 20 minutos. Essa prática foi realizada em triplicata. Após a esterilização do solo, amostras do mesmo foram retiradas para verificação da inertização do mesmo por meio da quantificação das unidades formadoras de colônias (UFC). O solo inertizado foi prontamente contaminado com óleo diesel. O combustível escolhido para a contaminação do solo em laboratório foi o óleo diesel comercial denominado S500. A escolha por esse combustível se deve a algumas características como alto peso molecular, moléculas recalcitrantes a atividade biológica e menor índice de volatilização. O óleo diesel foi utilizado nos mais diversos trabalhos na avaliação da efetividade da bioaumentação, podendo ser citados Cunningham e Philp, (2000), Bento et al. (2005), Mariano et al. (2008), Mohanti e Mukherji, (2008), Alisi et al. (2009), Kauppi et al. (2011), Taccari et al. (2012).

O combustível obtido em um posto de combustíveis foi prontamente armazenado em um recipiente de vidro âmbar escuro, para evitar a fotodegradação dos compostos sendo armazenado sob-refrigeração numa geladeira abaixo de 5°C para evitar a volatilização da fração de hidrocarbonetos mais voláteis.

O solo inertizado foi transferido para Kitassatos de 2 litros. Uma massa de 1,5 kilograma do solo foi contaminada com o diesel. A contaminação do solo foi realizada adicionando 25 gramas do óleo diesel para cada kilograma de solo utilizado. Após a contaminação, o solo foi homogeneizado, permanecendo fechado durante 24 horas em repouso, em capela de fluxo laminar.

PREPARAÇÃO E INOCULAÇÃO DOS MICRO-ORGANISMOS

Antes da preparação dos inóculos, a pureza das culturas dos micro-organismos escolhidos foram testadas. Para as bactérias utilizou-se a técnica de coloração de Gram. Para os fungos a verificação foi realizada de forma visual, através da observação das placas com suas culturas desenvolvidas.

As culturas bacterianas e de fungos atestadas puras, foram então cultivadas em tubos de ensaio de 150 x 16mm, contendo, 10 ml do meio BH contendo a seguinte composição em g.L⁻¹: MgSO₄7H₂O: 0,2; CaCl₂.2H₂O: 0,02; KH₂PO₄: 1,0; NH₄PO₄: 1,0; NH₄NO₃: 1,0; FeCl₃:0,05. No meio de cultivo foi adicionado uma proporção de 1,5% de óleo diesel comercial.

Os meios de cultivo, foram mantidos sob agitação em uma Incubadora Shaker MA 420 marca Marconi, a uma rotação de 100 rpm, e uma temperatura de 27 °C±2 até o desenvolvimento das colônias.

Cada amostra de microorganismo obtida na etapa anterior foi estriada em placa com meio mineral BH, acrescido de 1,5% de ágar-ágar e 1,5% de óleo diesel. As placas foram mantidas invertidas em estufa, a temperatura de 27°C±2, até o desenvolvimento das colônias. As colônias de bactérias obtidas pela metodologia anteriormente descrita foram estriadas e novamente inseridas em meio líquido BH para sua multiplicação, a partir da qual foram extraídas alíquotas para posterior centrifugação e obtenção de *pellets*. O meio de cultivo com as bactérias permaneceu em agitação a 100 rpm por 48h a uma temperatura de 30 °C. O processo de centrifugação para obtenção dos *pellets* foi efetuado em uma centrífuga *High Speed Brushless Centrifuge* MPW 350R, a uma rotação de 10.000 rpm, durante 10 minutos a temperatura de 4 °C. Os *pellets* foram lavados duas vezes com água deionizada autoclavada e centrifugados nas mesmas condições citadas anteriormente. Os *pellets* bacterianos foram ressuspensos em meio BH para posterior padronização através da escala de McFarland. Nos ensaios foram utilizadas populações de 1,5 x 10⁸ UFC/mL, representando 0,5 na escala McFarland. Fez-se uso de 1 mL de inóculo microbiano para cada 100 g de solo seco.

O preparo dos inóculos de fungos foi preparada a partir de suspensões de esporos, através da adição de 20 mL de água destilada estéril contendo Tween 80 na proporção de 0,5% (m/v) às placas contendo os fungos, sendo estas submetidas à agitação manual (em forma de 8) para uma eficiente extração dos esporos. Seguindo a metodologia chegou-se a uma concentração esperada de 1,0 x 10⁸ esporos/mL. Para inoculação, foi utilizado uma proporção de 1 mL de solução com esporos para cada 100 g de solo seco.

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DOS SISTEMAS DE BIORREMEDIÇÃO

Durante a operação dos sistemas objetivou-se manter a umidade do solo entre 50-60% da capacidade de saturação do mesmo. A correção da umidade foi realizada com solução de nutrientes, meio BH contendo: (g.L⁻¹: MgSO₄7H₂O: 0,2; CaCl₂.2H₂O: 0,02; KH₂PO₄: 1,0; NH₄PO₄: 1,0; NH₄NO₃: 1,0; FeCl₃:0,05. Os sistemas permaneceram abertos, para evitar a saturação do meio com CO₂. Os testes foram realizados em uma incubadora para DBO modelo MA 415, a uma temperatura constante de 30 °C.

MONITORAMENTO DA DEGRADAÇÃO DOS HIDROCARBONETOS PRESENTES NO SOLO.

Para o monitoramento da remediação dos solos amostras dos mesmos foram retiradas e colocadas em frascos de vidro, resfriadas a uma temperatura inferior a 2 °C e enviadas para as análises. As amostras foram analisadas por meio de cromatografia gasosa, seguindo a norma EPA 8386. Os tempos de amostragem foram de 0, 7, 21, 30, 45 dias. Os parâmetros analisados foram HPA e TPH *Fingerprint*.

RESULTADOS

Os 16 HPA's, considerados prioritários pela agência americana de meio ambiente (EPA), foram analisados nos solos contaminados neste estudo. Seguindo-se os valores de referência citados na resolução CONAMA nº 420/2009 para hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, é possível afirmar que o antraceno, benzo(a)antraceno, dibenzo(a,h)antraceno, fenantreno e o naftaleno estariam sob nível de prevenção após a contaminação do solo com óleo diesel (solo bruto), sendo assim os mesmos encontram-se na tabela 1, onde é possível avaliar a redução na concentração dos mesmos após a inoculação do solo.

Alguns HPA's apresentam-se em concentrações baixas no solo contaminado em laboratório, estando também abaixo dos valores orientadores regulados pela legislação, são eles, benzo[a]pireno, benzo[b]fluoranteno, benzo[ghi]perileno, benzo[k]fluoranteno, dibenzo[a,h]antraceno e indeno[1,2,3-cd]pireno. A sua baixa concentração prejudica a retirada de uma amostra representativa para análise.

Tabela 1 - Degradação dos hidrocarbonetos policíclico aromático.

Hidrocarboneto Policíclico Aromático	Nº de anéis	Consórcio	Período de operação (dias)					Controle
			0	7	21	30	45	
Antraceno	3	C1	0,5779	0,4719	0,0465	0,2863	0,7097	0,5005
		C2		0,5634	0,0906	0,402	0,4812	
Benzo[a]antraceno	4	C1	0,0554	0,0556	0,013	0,035	0,026	0,0588
		C2		0,0762	0,0546	0,0346	0,0401	
Dibenzo[a,h]-antraceno	5	C1	0,0029	0,005	N.D.	0,0063	0,0055	0,007
		C2		0,0042	N.D.	0,0028	0,0027	
Fenantreno	3	C1	7,972	4,561	3,7	3,203	3,933	5,739
		C2		4,652	10,206	3,431	4,015	
Naftaleno	2	C1	17,93	9,353	8,225	4,029	3,648	9,423
		C2		10,995	18,393	4,053	3,743	

Apesar da tendência observada com 30 dias de teste de degradação, a análise final apresentou um comportamento discrepante, podendo ter sido influenciado pela heterogeneidade do solo, pela ação microbiológica ou poderia se indicar um erro analítico. A concentração no solo de controle foi de 0,5005 mg.kg⁻¹, valor muito próximo as concentrações finais encontradas nos sistemas inoculados, o que indica pouca interação entre o contaminante e os micro-organismos.

A redução do benzo[a]antraceno pelo consórcio C1 ocorreu de forma mais satisfatória, na qual ao final do mesmo período de 45 dias a contaminação foi reduzida em 53,07%. Foi observado para ambos os consórcios uma fase inicial de aclimação, nos primeiros sete dias de testes. A presença do fungo *Aspergillus fumigatus* no consórcio C2 não representou vantagens para a degradação desse composto, com quatro anéis benzênicos, sendo a interação entre *Bacillus pumilus*, *B. subtilis* e *B. licheniformis* mais interessante para a sua degradação. O solo contaminado utilizado como controle apresentou uma concentração de 0,0588 mg.kg⁻¹, valor próximo ao solo bruto, demonstrando que sem a presença dos consórcios não houve degradação do contaminante.

O Dibenzo[a,h]-antraceno, encontra-se em concentrações que comprometem uma caracterização segura no solo, o que pode ser comprovado pelas oscilações nas concentrações do contaminante para os consórcios C1 e C2.

O fenantreno apresentou, após o naftaleno, a maior concentração inicial no solo, com 7,972 mg.kg⁻¹. O comportamento para a degradação do fenantreno, hidrocarboneto formado por três anéis benzênicos, em ambos os consórcios ocorreu similarmente, ao ponto de as concentrações finais serem reduzidas a uma diferença percentual mínima. Em 45 dias, o consórcio C1 reduziu em 50,66% a concentração do contaminante, com 3,933 mg.kg⁻¹, enquanto o consórcio C2 reduziu a contaminação em 49,64% com 4,015 mg.kg⁻¹. O solo de controle manteve-se ao final deste mesmo período com uma concentração de 5,739 mg.kg⁻¹.

O hidrocarboneto policíclico aromático com maior concentração encontrado no solo contaminado em laboratório com óleo diesel foi o naftaleno, apresentando uma concentração inicial de $17,93 \text{ mg.kg}^{-1}$. Ao final do período de 45 dias de teste, o consórcio C1 removeu 79,65% do naftaleno presente no solo, atingindo uma concentração final de $3,648 \text{ mg.kg}^{-1}$. O consórcio C2, ao final dos 45 dias, apresentou uma concentração residual de $3,743 \text{ mg.kg}^{-1}$, o que representa uma remoção total de 79,12%, com uma taxa de degradação de $0,19 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{d}^{-1}$. O solo de controle manteve uma concentração de naftaleno mais alta em relação aos correspondentes 45 dias dos processos de biorremediação, de $9,423 \text{ mg.kg}^{-1}$. Analisando o comportamento da degradação do naftaleno pelos dois consórcios pode se observar que a utilização do mesmo pelos consórcios apresenta três etapas. A primeira, até o sétimo dia de teste, onde a degradação do mesmo é realizada com a maior taxa de remoção. Uma segunda etapa, entre o 7° e 21° dias de teste e por último entre o 30° e 45° dia. Nesta última etapa a degradação do naftaleno, pelos dois consórcios, foi muito lenta, o que demonstra que a taxa de degradação deste composto é dependente da sua concentração.

Embora o consórcio C2 tivesse a presença de um fungo, não houve uma diferença expressiva na degradação do naftaleno, se comparado ao efeito do consórcio C1. Isso pode indicar que o fungo *Aspergillus fumigatus* não teria as enzimas específicas para degradar este composto.

DEGRADAÇÃO DE N-ALCANOS PELOS CONSÓRCIOS

Os valores referentes à degradação dos n-alcenos compreendidos entre C10 e C36 pelos consórcios de microorganismos, encontram-se dispostos na Tabela 2. Os n-alcenos: NC34, NC35 e NC36, não foram apresentados, devido as baixas concentrações encontradas já na amostra de solo bruto, não sendo representativas para o presente trabalho.

Pode-se avaliar que, a presença do fungo no consórcio C2 modifica a degradação desse grupo de alcanos se comparado com o consórcio C1. Isso demonstra que o fungo *Aspergillus fumigatus* atua de forma positiva na degradação de compostos nessa faixa de pesos moleculares. As diferenças com os resultados obtidos com os consórcios são evidenciadas quando se analisam os resultados com o nC25 a nC29 e nC30 a nC34. Para Kauppi et al. (2011) uma degradação total e eficiente de hidrocarbonetos de petróleo requer a presença ativa de uma variedade de vias metabólicas na comunidade microbológica do solo. Esse pode ser o caso do consórcio C2, pela presença do fungo.

Grande parte destes resultados, principalmente aqueles com os compostos de maiores pesos moleculares, mostra uma estabilização da degradação no período final dos testes. De acordo com Trindade et al (2005) a fração mais recalcitrante da contaminação tende a ser degradada a uma taxa que pode ser de uma ordem de magnitude mais baixa a observada em outros componentes. Como consequência, após um período inicial do tratamento biológico, a concentração de hidrocarbonetos tende a se estabilizar a valores que podem ser chamados de concentração residual. Uma das hipóteses mais aceitas propõe que o fenômeno de transferência está provavelmente envolvido com a etapa de taxa limitante. Sobre essas circunstâncias, a concentração residual depende principalmente das características do solo e o envelhecimento da contaminação.

Tabela 2 - Degradação dos n-alcenos de nC10 a nC36 pelos consórcios C1 e C2.

n-alceno	Consórcio	Período de operação (dias)					
		0	7	21	30	45	
n-alcenos [mg.kg ⁻¹]	NC10	C1	93,93	85,56	198,93	39,04	12,2
		C2		104,55	50,97	16,58	5,97
	NC11	C1	228,99	148,54	261,39	107,21	71,26
		C2		153,26	83,62	52,43	36,22
	NC12	C1	280,36	193,06	385,4	149,33	122,49
		C2		186,82	110,96	57,76	57,13
	NC13	C1	371,86	274,07	496,98	209,84	192,92
		C2		265,35	126,94	94,93	97,03
	NC14	C1	401,11	316,38	554,17	235,15	224,92
		C2		312,39	192,55	121,85	123,44
	NC15	C1	366,3	258,4	461,8	220,85	214,48
		C2		250,87	171,12	128,22	139,07
	NC16	C1	281,27	238,64	353,71	170,02	161,72
		C2		178,44	135,71	106,84	141,13
	NC17	C1	262,7	226,06	347,8	163,13	154,06
		C2		181,1	140,96	109,08	145,98
	PRI	C1	122,13	77,5	136,18	76,59	91,5
		C2		62,66	59,88	59,98	95,43
	NC18	C1	197,07	182,38	262,4	128,46	118,21
		C2		145,83	110,57	87,4	118,17
	PHY	C1	48,3	42,77	61,6	32,33	39,36
		C2		31,73	28,52	27	41,39
	NC19	C1	179,03	138,24	210,5	109,5	103,82
		C2		113,29	98,52	81,33	113,13
	NC20	C1	142,61	112,53	168,52	89,96	90,84
		C2		97,17	72,64	64,13	91,08
	NC21	C1	115,78	89,37	128,02	73,39	78,35
		C2		71,9	55,92	54,16	78,96
	NC22	C1	95,8	76,21	109,66	60,52	64,7
		C2		61,46	48,52	44,47	64,24
	NC23	C1	82,56	63,97	87,83	52,05	55,58
		C2		54,16	40,62	38,97	57,18
	NC24	C1	74,15	63,87	82,35	52,63	47,61
C2		51,92		41,63	35,29	55,44	
NC25	C1	60,75	46,21	71,07	39,17	39,24	
	C2		42,37	33,91	27,67	44,01	
NC26	C1	42,79	37,35	50,67	28,45	25,72	
	C2		34,14	27,12	18,67	31,25	
NC27	C1	32,99	29,11	37,68	20,69	18,7	
	C2		23,35	19,67	15,29	24,21	
NC28	C1	23,52	19,91	21,85	15,17	14,71	
	C2		16,41	13,07	10,2	17,14	
NC29	C1	17,46	14,66	18,4	11,95	11,65	
	C2		11,93	11	9,04	14,03	
NC30	C1	9,93	9,82	11,61	6,79	6,43	
	C2		9,09	6,42	4,82	9,04	
NC31	C1	8,03	7,35	11,07	5,38	5,69	
	C2		4,09	5,39	4,04	6,38	
NC32	C1	3,39	3,54	4,42	2,31	3,1	
	C2		3,1	2,48	2,31	3,88	
NC33	C1	2,52	3,19	3,45	1,93	2,77	
	C2		2,21	1,94	1,63	3,7	
	C2		0	1,52	0	2,04	

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos durante a biorremediação de um solo contaminado com óleo diesel através da bioaumentação com micro-organismos previamente isolados de uma biopilha estática, chegaram-se as seguintes conclusões.

O comportamento das concentrações ao longo do período de testes demonstrou a aptidão dos micro-organismos para lidar com esse tipo de molécula, sendo assim as eficiências para os consórcios seguiram a seguinte ordem $C1 < C2$.

Outro fator que atesta esses dados são as relações estabelecidas entre os alcanos utilizados como biomarcadores, o pristano e fitano e os n-alcanos nC17 e nC18 demonstram que ocorreu degradação biológica em ambos os sistemas, porém os resultados encontrados no microcosmo inoculado com o consórcio C2, permite afirmar que a atividade biológica foi mais intensa no microcosmos inoculado com esse consórcio.

Os resultados das degradações mostram que a taxa de degradação dos compostos é dependente da sua concentração, sendo que maiores taxas de degradação são observadas em compostos com maiores concentrações no solo contaminado.

O uso de micro-organismos através da técnica de bioaumento é um método eficiente para a remediação de solos contaminados com óleo diesel. Um maior destaque pode ser dado especialmente para a importância dos fungos presentes nos consórcios para a depleção desse contaminante no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALISI, C.; MUSELLA, R.; TASSO, F.; UBALDI, C.; MANZO, S.; CREMISINI, C.; SPROCATI, A. R. Bioremediation of diesel oil in a co-contaminated soil by bioaugmentation with a microbial formula tailored with native strains selected for heavy metals resistance. *Science of the Total Environment*, n.407, p.3024–3032, 2009.
2. 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. *Bioresource Technology*, v.96, p.1049–1055, 2005.
3. BENTO, F. M.; GAYLARDE, C.C. Biodeterioration of stored diesel oil: studies in Brazil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v.47 p.107–112, 2001.
4. BRASIL. Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>> Acesso em: 09 janeiro. 2017.
5. C.J. CUNNINGHAM AND J.C. PHILP. Comparison of bioaugmentation and biostimulation in ex situ treatment of diesel contaminated soil. *Land Contamination & Reclamation*, n8, 2000.
6. FERNÁNDEZ-LUQUEÑO, F.; VALENZUELA-ENCINAS, C.; MARSCH, R.; MARTÍNEZ-SUÁREZ, C.; VÁZQUEZ-NÚÑEZ, E.; DENDOOVEN, L. Microbial communities to mitigate contamination of PAHs in soil – possibilities and challenges: a review. *Environmental Science Pollution Resolution*, n.18, p.12–30, 2011.
7. GHAZALI, F. M.; RAHMAN, R.N.Z.A.; SALLEH, A. B.; BASRI, M. Biodegradation of hydrocarbons in soil by microbial consortium. *International Biodeterioration & Biodegradation*, n.54, p.61–67, 2004.
8. KAUPPI, SARI; SINKKONEN, AKI; ROMANTSCHUK, MARTIN. Enhancing bioremediation of diesel-fuel-contaminated soil in a boreal climate: Comparison of biostimulation and bioaugmentation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, n.65, p.359-368, 2011.
9. MANZOCHI, C. De olho nos postos de abastecimento. *Ciência Hoje*. v. 29, p. 40, 2001.
10. MARIANO, A. P.; BONOTTO, D. M.; ANGELIS, D.F.; PIRÔLLO M. P. S; CONTIERO, J. Biodegradability of commercial and weathered diesel oils. *Brazilian Journal of Microbiology*, n.39, p.133-142.
11. MARIANO, A. P.; BONOTTO, D. M.; ANGELIS, D.F.; PIRÔLLO M. P. S; CONTIERO, J. Biodegradability of commercial and weathered diesel oils. *Brazilian Journal of Microbiology*, n.39, p.133-142, 2008.
12. MEIRA, JOEL ALEXANDRE. Produção de biosurfactantes por fermentação no estado sólido e desenvolvimento de aplicações para tratamento de solos contaminados por hidrocarbonetos. Dissertação. PPGQ-UFPR, 2007

13. MOHANTY, G.; SUPARNA M.. Biodegradation rate of diesel range n-alkanes by bacterial cultures *Exiguobacterium aurantiacum* and *Burkholderia cepacia*. *International Biodeterioration & Biodegradation* n.61, p.240–250, 2008.
14. TACCARI, MANUELA; MILANOVIC, V.; COMITINI, F.; CASUCCI, C.; CIANI, M. Effects of biostimulation and bioaugmentation on diesel removal and bacterial Community. *International Biodeterioration & Biodegradation* n.66, p.39–46, 2012.
15. TRINDADE, P.V.O.; L.G. SOBRAL, A.C.L.; RIZZO, S.G.F.; LEITE, A.U.; Bioremediation of a weathered and a recently oil-contaminated soils from Brazil: a comparison study. *Chemosphere*, v.58, p.515–522, 2005.