



Desenvolvimento de Projetos de Biorremediação em Curitiba – Brasil

Atualmente, um dos grandes problemas enfrentados pelas concessionárias de energia elétrica é o vandalismo para furto da estrutura interna de transformadores elétricos composta por cobre, bronze e outros metais com alto valor de venda no mercado de sucata. Além das implicações financeiras e sociais provenientes deste tipo de vandalismo, a prática ainda provoca contaminação do solo por óleo mineral, o que pode vir a comprometer o lençol freático, dado que uma única gota de óleo pode tornar 25 litros de água imprópria para o consumo humano. Acidentes desta espécie são de responsabilidade civil e administrativa da concessionária de energia local, que deve agir de forma a remediar a área.

De modo a combater os problemas ambientais gerados por este tipo de incidente, alguns projetos, utilizando a tecnologia da *Sarva Bioremed* têm sido desenvolvidos entre a *Companhia Paranaense de Energia* (COPEL) e o *Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento* (LACTEC), conforme descrito neste artigo.

- Fazenda Rio Grande – Parque Municipal

Em março do ano de 2006, no município de Fazenda Rio Grande, estado do Paraná, o vandalismo contra um transformador elétrico da Companhia Paranaense de Energia (COPEL) foi responsável pela contaminação de cerca de 500 m² de área com óleo mineral na região do Parque Verde (Figura 1).

SDM do Brasil Ltda

Escritório Comercial:
Rua Rocha, 167 cj 124 – Bela Vista
São Paulo SP – CEP: 01330-000

Tel/Fax: 55-11-3266 7886
www.sdmdobrasil.com.br

Unidade Industrial
Rodovia PR 469, Km 04 – Distrito Industrial
Pato Branco – Paraná – Cep:85503-390



Figura 1. Área contaminada – Parque Verde

A avaliação ambiental do local revelou alta contaminação oleosa do solo e extensão da área para 270 m² (visível) devido ao intervalo entre o incidente e a ação. Além disso, análises seqüenciais, intervaladas em um mês, revelaram um decaimento substancial da concentração de contaminação na superfície, o que indica a percolação do óleo mineral, podendo comprometer a qualidade da água de subsolo. As Tabelas 1 e 2 mostram os resultados da amostragem do solo.

Tabela 1. Contaminação do solo resultante do acidente (junho de 2006).

Amostra	Localização	Resultado
1	frente ao poste	8309
2	próximo ao lago	3280
3	a esquerda do poste	5494
	Média	5694



Tabela 2. Contaminação do solo resultante do acidente (julho de 2006).

Amostra	Localização	Resultado
1	250° oeste da árvore	2006
2	atrás do poste	802
3	a frente da construção	0
4	a esquerda do poste, 250° oeste da árvore, meio	0
	Média	702
	Média Geral	2842

Sendo a concessionária responsável pela recuperação do local, como método de remediação, frente ao alto volume de solo e diante da viabilidade ambiental e financeira, optou-se pela utilização da técnica de retirada do material contaminado e posterior lavagem do material com agente biorremediador autóctone, em acordo com a legislação ambiental vigente no país.

- Desenvolvimento dos agentes:

No início, de modo a adequar as atividades em projeto às restritas normas ambientais brasileiras, além de garantir a intensificação da recuperação local, foi desenvolvido, pela empresa Sarva Bio Remed – EUA, um produto biorremediador a partir de microorganismos locais, desenvolvido sobre amostras de solo e água retiradas dos pontos mais contaminados.

A emulsão, desenvolvida e importada no final do ano de 2006, poderá ser utilizada em toda a região de Curitiba e adjacências devido às semelhanças de tipo de solo e clima, que propiciam à existência de uma mesma matriz microbiológica. O produto, testado quanto à eficiência, obteve bastante êxito, sendo altamente adequado para a atividade.

- Processo de recuperação local

O processo de recuperação ambiental da área, iniciado em dezembro de 2006, foi desenvolvido com a retirada do solo contaminado do local, a cerca de 70 cm de profundidade e formação de pilhas de material. As pilhas foram submetidas a tratamento de biorremediação e acompanhamento laboratorial, a partir da coleta de amostras para a realização do ensaio de TPH segundo a norma *ASTM D 5765-05* -

SDM do Brasil Ltda

Escritório Comercial:
Rua Rocha, 167 cj 124 – Bela Vista
São Paulo SP – CEP: 01330-000

Tel/Fax: 55-11-3266 7886
www.sdmdobrasil.com.br

Unidade Industrial
Rodovia PR 469, Km 04 – Distrito Industrial
Pato Branco – Paraná – Cep:85503-390



Standard Practice for Solvent Extraction of Total Petroleum Hydrocarbons from Soils and Sediments Using Closed Vessel Microwave Heating como parâmetro fundamental.

a. Retirada do Solo Contaminado

Em um primeiro momento, o estudo teórico local levantou a hipótese de necessidade de tratamento de uma área de 280 m² visível, com a estimativa de uma profundidade de até 3m. O intervalo de tempo entre as amostragens preliminares e o início do tratamento indicou um aumento da área superficial a tratar em 80 m² devido a um maior espalhamento lateral do contaminante. Por outro lado, a inspeção analítica inicial mostrou que a percolação do óleo mineral se restringiu a uma camada de cerca de 40 cm de profundidade.

De modo a evitar a retirada de solo não contaminado e reduzir o volume de material a ser tratado, as escavações foram feitas por valas de profundidade variável, aonde é coletado material para determinação da contaminação remanescente.

Inicialmente a área escavada foi dividida em 6 quadras (Figura 2), separadas por pequenas valas, para acompanhamento da contaminação. Uma análise preliminar (Tabela 3), que retirou material a cerca de 50 cm de profundidade (no interior das valas), determinou que seria necessária a escavação apenas até tal nível, uma vez que o objetivo a atingir é o de 50 mg de óleo por Kg de solo. Esta análise preliminar desconsiderou a matéria orgânica presente no solo da ordem de 850 mg/Kg.

SDM do Brasil Ltda

Escritório Comercial:
Rua Rocha, 167 cj 124 – Bela Vista
São Paulo SP – CEP: 01330-000

Tel/Fax: 55-11-3266 7886
www.sdmdobrasil.com.br

Unidade Industrial
Rodovia PR 469, Km 04 – Distrito Industrial
Pato Branco – Paraná – Cep:85503-390



Figura 2. Retirada do solo contaminado.

Tabela 3. Resultados para análise de TPH das valas a 50 cm.

Pontos	Localização	Resultado Preliminar (ppm)
1	final do 4° quadrante	399
2	início do 3° quadrante	37
3	frente ao poste	220
	Média	219

A determinação do total de matéria orgânica (ou “branco de solo”) é realizada pela amostragem de um ponto de provável não contaminação. O alto valor resultante do ponto analisado e o desconhecimento das atividades desenvolvidas no local forçaram uma avaliação crítica do resultado. De qualquer forma, estando o valor médio superior ao objetivo, foi realizada a escavação da profundidade e posterior empilhamento. Uma análise dos resultados anteriores comprovou a possibilidade de haverem pontos de contaminação inferior a 1 ppm, o que descaracteriza o ponto de branco. Assim sendo, já escavado o local a 50 cm, foram realizadas novas amostragens, conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Resultados das análises de TPH para o solo escavado.

Ponto	Localização	Resultado (ppm)
1	próximo às pilhas, linha do poste	0
2	poste	646
3	1° quadrante à esquerda	0
4	3° quadrante à esquerda	388
5	4° quadrante à esquerda	0
6	5° quadrante à esquerda	40
Média		179

A análise dos resultados frente ao objetivo a atingir de 50 mg/Kg de óleo no solo, forçou um prosseguimento nas atividades de retirada de material. Sendo assim, foi escavada uma profundidade maior, em cerca de 20 cm, com a coleta de novas amostras para análise dos hidrocarbonetos totais de petróleo (Figura 3 e Tabela 5).



Figura 3. Retirada de mais 20 cm de solo contaminado.

Tabela 5. Resultados das análises de TPH para solo escavado a 70 cm.

Ponto	Localização	Resultado
1	1° quadrante à esquerda	0
2	3° quadrante à esquerda	0
3	4° quadrante à esquerda	0
4	5° quadrante à esquerda	144
Média		36

A análise dos resultados das amostras de solo da escavação a 70 cm atingiu uma média de 36 ppm, inferior ao objetivo determinado ao local de 50 mg/Kg. Sendo assim, os serviços de retirada do material contaminado foram encerrados, totalizando um número de 10 pilhas de tratamento (4 anteriores e 6 novas).

b. Remediação do Material Contaminado

Empilhado o material contaminado que fora retirado do local original, foi iniciado o processo de remediação microbiana a partir de produto autóctone.

O solo, dividido nas quatro pilhas anteriores dispostas sobre lona impermeável, foi coletado e analisado quanto aos hidrocarbonetos totais de petróleo antes do início do tratamento. Coletadas as amostras, foi iniciado o processo de remediação do material. O produto remediador foi aspergido com o auxílio de um regador nas quatro pilhas formadas pelo solo removido. Houve o revolvimento do solo em fase de tratamento para a homogeneização promovendo assim melhor contato do agente remediador em todas as profundidades da pilha. A Tabela 6 e a Figura 4 mostram os valores anteriores ao tratamento e o processo de coleta de amostras das pilhas; a Figura 5 retrata o processo de remediação.



Figura 4. Processo de coleta de amostras das pilhas de tratamento.

Tabela 6. Resultado das análises de TPH no solo antes do tratamento.

Média - Pilhas antes do tratamento				
Pilhas	1	2	3	4
Superfície	3397	1938	2947	1530
Meio	1167	1877	821	887
Fundo	501	2946	995	876
Média	1688	2254	1587	1098
			Média Geral	1657



Figura 5. Processo de Remediação das pilhas de tratamento.

De modo a assegurar a eficiência e garantir o alcance do objetivo de 50 mg/Kg, foram coletadas novas amostras após cerca de duas semanas de remediação, período previamente estudado nos laboratórios do LACTEC. Esta coleta foi efetuada de maneira similar à anterior e as amostras foram analisadas quanto aos hidrocarbonetos totais de petróleo, conforme a Tabela 7.



Tabela 7. Resultado das análises de TPH no solo após 2 semanas.

Média - Pilhas após 2 semanas de tratamento				
Pilhas	1	2	3	4
Superfície	521	750	599	560
Meio	1087	966	399	330
Fundo	675	528	450	525
Média	761	748	483	472
			Média Geral	616

O decaimento da concentração média do óleo no solo em tratamento, da ordem de 63% durante o período de 2 semanas fora bastante significativo. Porém, dado a distância do objetivo principal, no final do período anterior foi realizada uma reativação das pilhas e coletadas novas amostras seguindo o mesmo princípio utilizado anteriormente. A Tabela 8 mostra os resultados após 6 semanas de tratamento.

Tabela 8. Resultado das análises de TPH no solo após 6 semanas.

Média - Pilhas após 6 semanas de tratamento				
Pilhas	1	2	3	4
Superfície	829	349	389	443
Meio	641	728	741	438
Fundo	456	592	381	250
Média	642	556	504	377
			Média Geral	520

Devido à menor frequência de revolvimento do solo em tratamento, a eficiência do processo foi menor, passando para uma decaimento de 15% da concentração do contaminante num período de 4 semanas. Isto também se deve aos teores inferiores de óleo no solo em relação ao início do tratamento, que diminuem a proliferação dos agentes remediadores.

Dando nova continuidade ao trabalho, após um período mais longo de tratamento, com inserção constante de remediadores e revolvimento freqüente do solo, novas amostras foram coletadas, atingindo um patamar médio de TPH bastante interessante, conforme detalhado na Tabela 9.

Tabela 9. Resultado das análises de TPH no solo após 10 semanas.

Média - Pilhas 10 semanas de tratamento					
Pilhas	1	2	3	4	Média
Superfície	3	27	146	14	48
Meio	30	748	76	24	220
Fundo	170	1391	379	166	527
Média	68	722	200	68	265
				Média Geral	265

A retirada do material a uma profundidade 20 cm superior à inicial, permitiu a formação de novas 6 pilhas de tratamento, remediadas e acompanhadas de forma semelhante às demais. As tabelas 10 e 11 retratam o desenvolvimento das atividades.

Tabela 10. Resultado das análises de TPH no solo antes do tratamento.

Média – Antes do tratamento						
5	6	7	8	9	10	Média
41	435	635	395	496	485	1341
9	432	403	266	317	316	698
80	583	629	355	1328	680	937
43	483	556	339	714	494	438
					Média Geral	438

Tabela 11. Resultado das análises de TPH no solo após 2 semanas.

Média – Após 2 semanas de tratamento						
5	6	7	8	9	10	Média
293	156	136	179	87	156	168
231	64	136	329	350	133	207
292	167	145	255	109	467	239
272	129	139	254	182	252	205
					Média Geral	205

Pequenos problemas analíticos, detalhados na seqüência, além da determinação do TPH como um parâmetro apenas, permitiram o encerramento do processo neste ponto, quando foi garantida excelente qualidade de recuperação do solo local.

De modo a permitir o encerramento das atividades, em acordo com a legislação ambiental do país, foram coletadas amostras de solo, compostas em campo, para

realização dos ensaios de TPH, BTX e HPA exigidos. A tabela 12 retrata os últimos valores encontrados.

Tabela 12. Resultados de TPH, BTX e HPA para cada uma das pilhas.

Pilha de tratamento	TPH (mg/Kg)	Benzeno (mg/Kg)	Tolueno (mg/Kg)	Xileno (mg/Kg)	PAH (mg/Kg)
1	55	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 2,0
2	485	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 2,0
3	184	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 2,0
4	313	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 2,0
5	0	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 2,0
6	14	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 2,0
7	113	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 2,0
8	74	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 2,0
9 e 10	40	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 2,0
Média	142	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 2,0

Estando os resultados em acordo com o exigido pela legislação e o esperado pelo projeto, a vala em tratamento fora fechada (Figura 6) e a área tratada liberada para utilização normal pelo Parque Municipal.



Figura 6. Área recuperada e liberada para utilização pelo parque.

- Subestação de Mandirituba

Semelhante ao processo descrito, durante os últimos meses do ano de 2006, a subestação de Mandirituba, de responsabilidade da Companhia Paranaense de Energia, tem sofrido fortemente com o ataque vândalo sobre os equipamentos em desuso, que ficam ali dispostos até nova utilização. Como resultado da violação de mais de 15 transformadores, o solo local tem apresentado, visivelmente, uma contaminação oleosa de caráter preocupante (Figura 7).



Figura 7. Subestação de Mandirituba

A avaliação ambiental do local revelou alta contaminação média da superfície do solo por hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) avaliada em 7.847 mg de óleo por Kg de solo, o que se estende por uma área visível de cerca de 500 m². Além disso, o intervalo de tempo significativo entre o acidente e a ação pode indicar a percolação do óleo mineral, podendo comprometer a qualidade da água de subsolo. A Tabela 13 apresenta os resultados encontrados.



Tabela 13. Contaminação do solo devido ao incidente.

Ponto	Resultado Superfície (ppm)
1	8794
2	22777
3	7808
4	602
5	806
Média	
	8158

Ponto	Resultado 1,5 metros (ppm)
1	105
2	2021
3	86
4	47
5	0
Média	
	452

Sendo a concessionária responsável pela recuperação do local, como método de remediação, frente ao possível alto volume de solo contaminado, recomendou-se a utilização de agente biorremediador autóctone para tratamento microbiológico, devido à sustentabilidade em relação aos demais métodos aplicáveis ao caso. Além disso, uma vez que mesmo a aplicação do tratamento mais adequado não isenta a concessionária de novos incidentes, é importante que sejam estudadas também medidas preventivas.

- **Remediação do Material Contaminado**

A recuperação ambiental da subestação de Mandirituba, iniciada no dia 02 de fevereiro de 2007 com reunião de integração e segurança entre o pessoal da COPEL e do LACTEC, vem sendo desenvolvida de acordo com o Plano de Ação determinado.

O tratamento do primeiro quadrante, responsável pela formação de dez pilhas (Figura 1), vêm sendo desenvolvido e obteve bastante êxito com o processo de remediação (Figura 2).

SDM do Brasil Ltda

Escritório Comercial:
Rua Rocha, 167 cj 124 – Bela Vista
São Paulo SP – CEP: 01330-000

Tel/Fax: 55-11-3266 7886
www.sdmdobrasil.com.br

Unidade Industrial
Rodovia PR 469, Km 04 – Distrito Industrial
Pato Branco – Paraná – Cep:85503-390



Figura 1. Pilhas de tratamento.



Figura 2. Remediação das pilhas de Mandirituba.

O processo de remediação, que consiste do espalhamento de agentes autóctones sob as pilhas de material contaminado, durante o período se mostrou bastante produtivo frente ao objetivo estabelecido em 500 mg de óleo/kg de solo.



A amostragem, baseada na composição de amostras em campo, foi bastante eficiente dada à utilização do máximo possível de material das pilhas. As Tabelas 1 e 2 retratam a eficiência do tratamento na análise por monte.

Tabela 1. Resultados de TPH nas pilhas antes do tratamento.

MANDIRITUBA (Pilhas Antes)	
Ponto	TPH (mg/Kg)
MONTE 1	827
MONTE 2	2492
MONTE 3	527
MONTE 4	1612
MONTE 5	3507
MONTE 6	142
MONTE 7	412
MONTE 8	858
MONTE 9	3706
MONTE 10	308
MÉDIA	1408

Tabela 2. Resultados de TPH nas pilhas após 4 semanas de tratamento.

MANDIRITUBA (Pilhas Após)	
Ponto	TPH (mg/Kg)



MONTE 1	242
MONTE 2	911
MONTE 3	518
MONTE 4	1117
MONTE 5	988
MONTE 6	618
MONTE 7	320
MONTE8	194
MONTE 9	335
MONTE 10	127
MÉDIA	524

Devido ao excelente resultado e a conformidade de algumas pilhas com o objetivo estabelecido, parte do material retornou ao seu local original de modo a permitir o início das atividades sob o segundo quadrante.