

## APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ENCAPSULAMENTO EM UM SOLO CONTAMINADO COM BORRA OLEOSA ÁCIDA

José Waldomiro Jiménez Rojas<sup>1</sup>, Nilo Cesar Consoli<sup>2</sup>, Karla Salvagni Heineck<sup>3</sup>

**Resumo:** *Este trabalho tem como objetivo aplicar a técnica de encapsulamento, conhecida também como solidificação/estabilização, em um solo contaminado com crescentes quantidades do resíduo industrial borra oleosa ácida, utilizando como agente encapsulante o cimento Portland CP-V ARI. A metodologia consistiu na realização de estudos pré e pós-tratamento, analisando quimicamente o solo tratado através de ensaios de lixiviação em coluna, sendo que previamente foram realizados ensaios de caracterização geotécnica e compactação Proctor normal para o solo em estudo. A técnica de encapsulamento mostrou-se eficiente quanto à redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Devido, porém, aos elevados valores obtidos na relação entre DQO/DBO, pode-se afirmar que o lixiviado possui uma baixa biodegradabilidade.*

**Palavras-chave:** Encapsulamento. Solo contaminado. Cimento Portland.

### 1 Introdução

Os resíduos industriais, principalmente os gerados nas indústrias petroquímicas, constituem-se em graves problemas sócio-ambientais para o país, e são apontados como grandes desafios para as áreas responsáveis pelas pesquisas em planejamento e operação do sistema de destino final de resíduos sólidos (PIRES et al., 2003).

Em função deste panorama, crescem as iniciativas de programas de preservação e gerenciamento ambiental, assim como também estudos de medidas para o controle e remediação de áreas contaminadas, além de estudos tecnológicos capazes de minimizar o volume e a toxicidade dos resíduos industriais.

Azambuja et al. (2002) relatam que existem inúmeros processos de controle e remediação de solos contaminados, cujas soluções passam, em sua maioria, pela remoção do solo contaminado, confinando o material em aterros de resíduos sólidos ou dispendo-o em landfarmings (sistema utilizado para o processo de degradação biológica). No entanto, Schwarz et al. (2006) destacam que a remoção completa do solo contaminado ou do contaminante, é impossível e/ou excessivamente cara. Diante disso, a atenção principal está sendo dada para o isolamento e

a retenção através de meios que possibilitem o controle da migração do contaminante.

Entre os métodos de retenção ou imobilização de materiais contaminados pode-se citar o processo de encapsulamento ou estabilização/solidificação (E/S) de contaminantes, método este que é utilizado para transformar materiais sólidos ou líquidos potencialmente poluentes em materiais sólidos menos poluentes ou não poluentes.

A tecnologia de estabilização/solidificação (E/S) vem se tornando uma importante alternativa de tratamento para a disposição de resíduos perigosos em aterros e controle de áreas contaminadas, pois provê o melhoramento das características físicas e toxicológicas do resíduo e/ou do solo, facilitando o seu gerenciamento de forma segura e eficaz.

Para Stergemann e Buenfeld (2002), o encapsulamento com cimento Portland ou outro agente cimentante hidráulico é geralmente sugerido como o melhor tratamento para rejeitos que não podem ser eliminados ou reciclados. Mayers e Eappi (1992) salientam que a utilização de materiais cimentícios tem sido usada há décadas no tratamento final para a disposição de rejeitos químicos e radiativos.

Um estudo realizado pela

<sup>1</sup> Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PPGEC/UFRGS. E-mail: engrojas@gmail.com

<sup>2</sup> Professor Ph.D., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PPGEC/UFRGS. E-mail: consoli@ufrgs.br

<sup>3</sup> Professora Doutora, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PPGEC/UFRGS. E-mail: karla@ppgec.ufrgs.br

Environmental Protection Agency (USA) em 1991 demonstrou que 56% dos casos de aplicação da técnica E/S se deu para contaminantes na forma de metais, 6% para contaminantes orgânicos e 31% para ambos.

Neder et al. (1999) destacam que a tecnologia de encapsulamento constitui numa alternativa de tratamento para resíduos que contêm contaminantes iônicos, como os metais pesados. De acordo com a U.S. Army Corps of Engineers (1995), a técnica é aplicada preferencialmente a contaminantes constituídos essencialmente de metais pesados, pois a adição de cimento eleva o pH das misturas, formando hidróxidos de metais, os quais são muito menos solúveis que outras espécies iônicas dos metais.

Oliveira et al. (2003) ressaltam que a tecnologia de encapsulamento é considerada uma forma segura de tratamento para uma variedade de contaminantes, neles incluídos os resíduos oriundos do petróleo.

Muitas pesquisas estão direcionadas para a análise da efetividade da técnica de encapsulamento em reter ou minimizar a emissão de metais pesados e contaminantes orgânicos, sem a preocupação da biodegradabilidade do lixiviado do composto encapsulado.

Neste contexto, o presente estudo visa à aplicação da técnica de encapsulamento com cimento Portland quando o solo estiver contaminado pelo resíduo industrial borra oleosa ácida, tendo como objetivo investigar o comportamento químico do composto encapsulado através de ensaios de lixiviação em coluna, analisando o lixiviado quanto à demanda química de oxigênio e à demanda bioquímica de oxigênio.

## 2 Metodologia

A metodologia compreendeu ensaios de compactação proctor normal, lixiviação em coluna e análises químicas do lixiviado (Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO e Demanda Química de Oxigênio - DQO). Foram adotados 10 e 20% de cimento em relação ao peso dos sólidos na densidade máxima seca obtida pela curva de compactação Proctor normal realizados para o solo natural, solo/cimento e solo/cimento/borra

oleosa ácida. Para cada teor de cimento foram adotadas crescentes combinações de borra oleosa ácida. Para cada teor de cimento foram adotadas crescentes combinações de borra oleosa ácida nas quantidades de 0, 2 e 6% em relação ao peso do solo, sendo que, para fins de controle de umidade, o percentual da borra oleosa ácida que evapora a 60°C (4,5% de umidade) foi adicionado sobre a umidade ótima de compactação.

## 2.1 Materiais utilizados

### a) Solo

O solo utilizado nesta pesquisa é proveniente da região metropolitana de Porto Alegre, local de coleta situado na província geomorfológica denominada Depressão Periférica, cuja litologia é caracterizada pela presença de rochas sedimentares pertencentes à Bacia do Paraná.

A Figura 1 apresenta a curva granulométrica realizada por peneiramento e sedimentação, seguindo o procedimento proposto na NBR 7181 (ABNT, 1984). Os resultados da análise granulométrica evidenciam a predominância da fração siltosa (43,0% - diâmetro de 0,002 a 0,075mm). A areia apresenta 35% da composição total (diâmetro > 0,074), seguida de 22% de argila (diâmetro < 0,002mm). O solo possui Limite de Liquidez (LL) de 21%, Limite de Plasticidade (LP) de 17%, índice de plasticidade (IP) de 4% e massa específica real dos grãos (Gs) de 2,72.

### b) Cimento

Como agente cimentante para o encapsulamento do solo contaminado adotou-se o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) da marca Cauê. O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquire elevadas resistências com maior velocidade.

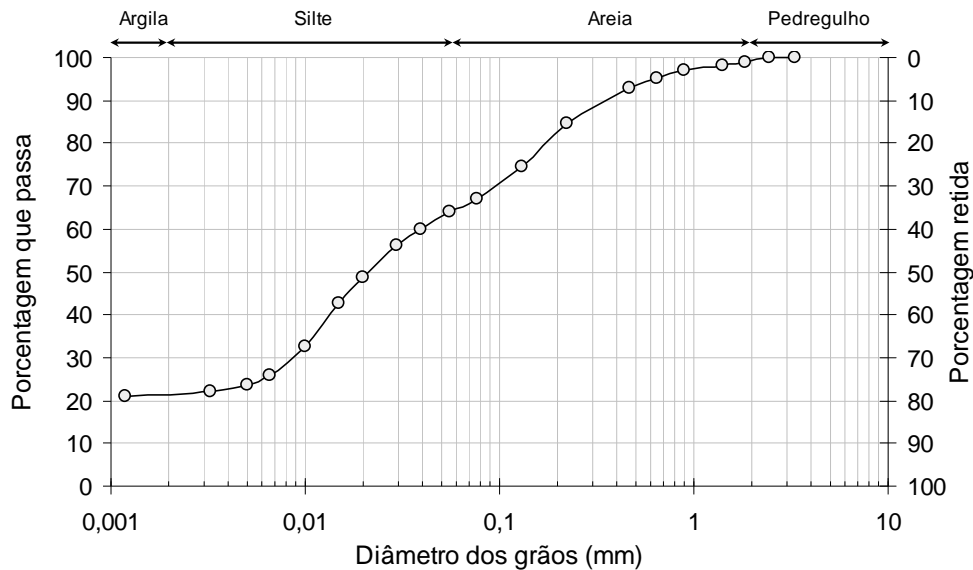


Figura 1 - Distribuição granulométrica do solo em estudo.

### c) Água

Para os ensaios de compactação Proctor normal, foi utilizada a água disponível na rede pública de abastecimento e, para os ensaios de lixiviação em coluna, água destilada.

### d) Borra oleosa ácida

O contaminante utilizado nesta pesquisa foi o resíduo borra oleosa ácida, oriundo de uma refinaria que realiza o reprocessamento de óleos lubrificantes usados, utilizados em veículos automotores. O resíduo apresenta variabilidade quanto à sua composição, devido às características da matéria-prima utilizada e outros fatores inerentes ao processo de refino.

O óleo usado recebido na indústria sofre um pré-aquecimento, quando parte das frações leves e da água nele contida é removida. Após esse processo, o óleo passou por um filtro de malha grossa para a remoção de partículas grosseiras e seguiu para a etapa de desidratação e craqueamento térmico, para a remoção das frações leves e da água. O óleo desidratado foi resfriado até uma temperatura de aproximadamente 40°C e tratado com ácido sulfúrico concentrado (98%), numa proporção que variou de 3 a 4% do volume de óleo utilizado no processo. O óleo tratado com ácido passou por um processo de decantação, que é aplicado para a separação das frações pesadas. Deste

processo decorreu a formação da borra oleosa ácida.

## 2.2 Métodos utilizados

### a) Compactação Proctor normal

Para a obtenção dos parâmetros de moldagem (peso específico máximo seco -  $\gamma_{dm\acute{a}x}$  e umidade ótima -  $\omega_{\acute{o}tima}$ ) do solo natural e das misturas de solo/cimento e solo/cimento/contaminante, foram realizados ensaios de compactação com energia Proctor normal segundo as normas NBR 7182 (ABNT, 1986) e NBR 12023 (ABNT, 1992). A preparação do solo para o ensaio de compactação foi realizada seguindo as considerações estipuladas pela NBR 6457 (ABNT, 1986).

### b) Preparação das amostras de lixiviação

A mistura foi realizada na seguinte ordem: [(solo + cimento) + borra oleosa ácida] + água. A mistura foi realizada manualmente em recipientes de aço inox e com o auxílio de espátulas. Todos os materiais foram pesados com resolução de 0,01 gf.

As amostras foram compactadas estaticamente em cinco camadas no interior de um molde metálico de aço inox, de 10,0 cm de diâmetro e 30,0 cm de altura. O controle da densidade foi realizado monitorando a altura e

o peso de cada camada. Ao final desta etapa uma amostra de material foi retirada para o controle da umidade. A cura dos corpos-de-prova foi de 3 dias.

### c) Ensaios de lixiviação em coluna

Uma das grandes vantagens da análise de solos contaminados através do equipamento de lixiviação em coluna é a simulação das reais condições que ocorrem em campo, podendo-se realizar ensaios com amostras indeformadas de solos trazidas diretamente de áreas contaminadas, o que não ocorre com o ensaio de lixiviação adotado pela NBR 10.005.

Os ensaios de lixiviação em coluna basearam-se nos procedimentos descritos pela ASTM D 4874 (1995). O equipamento utilizado nesta pesquisa está apresentado na Figura 2.

Segundo a norma ASTM D 4874 (1995), a pressão aplicada deve ser tal a ponto de se obter um valor de líquido lixiviado de uma a oito vezes o volume de vazios da amostra ensaiada.

Deste modo foi realizado um ensaio piloto para uma análise preliminar do comportamento do solo, foi moldado um corpo-de-prova com os parâmetros obtidos pela curva de compactação para o solo natural, e submetido à pressão máxima estipulada pela norma. Este ensaio teve o intuito de avaliar a quantidade de líquido lixiviado em 24 horas.

Como o ensaio piloto apresentou pouca quantidade de líquido lixiviado, 37 ml, adotou-se ensaiar as amostras com pressão máxima estipulada pela norma, tendo como meta a coleta de, no mínimo, vez o volume de vazios da amostra, e o tempo total de ensaio como variável. Assim sendo, pressurizou-se o lixiviante até a pressão de 275 kPa, resultando em um gradiente hidráulico máximo de aproximadamente 92.

Antes dos ensaios, todo o equipamento de lixiviação em coluna foi higienizado, sendo posteriormente seco ao ar e através de papéis-filtro. As pedras porosas foram previamente saturadas de água destilada através de imersão horas antes do ensaio.

Para garantir a saturação da pedra porosa inferior, as válvulas de entrada e de saída da extremidade inferior do cilindro com o solo compactado foram abertas, de modo a

garantir fluxo horizontal pelo interior da pedra porosa, eliminando eventuais bolhas de ar. Com o fechamento da válvula de saída da extremidade inferior e a abertura da válvula superior, iniciou-se a percolação ascendente por meio da amostra.

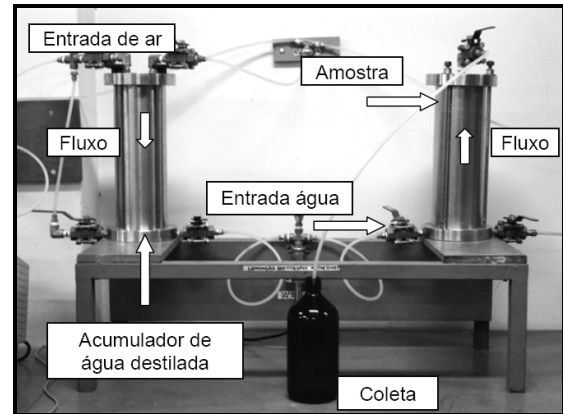


Figura 2 - Equipamento de lixiviação em coluna.

O material lixiviado foi coletado através de uma tubulação de nylon que ligou a extremidade superior do cilindro ao frasco de coleta. Os frascos contendo o lixiviado, cedidos pelo laboratório contratado, eram de cor escura ou opaca, previamente identificados. Durante os ensaios os frascos foram dispostos dentro de uma caixa térmica. Ao término da coleta, as amostras foram armazenadas sob refrigeração de  $\pm 4^{\circ}\text{C}$  e com os devidos conservantes.

### d) Análise química do lixiviado

As análises da demanda química de oxigênio e da demanda bioquímica de oxigênio seguiram os procedimentos descritos pela *Standard methods for the examination of water and wastewater – 21<sup>st</sup> Edition – 2005*. As determinações destes parâmetros sempre foram feitas em duplicata.

## 3 Resultados e discussões

### 3.1 Compactação Proctor normal

Os ensaios de compactação com energia Proctor normal foram realizados para determinar a umidade ótima e o peso específico máximo seco de compactação, os quais foram utilizados como parâmetros para a

moldagem dos corpos-de-prova. Foram realizados ensaios para dois teores de cimento, 10 e 20% sobre o peso do solo e crescentes quantidades de contaminante. Os ensaios foram realizados para as seguintes

misturas: solo natural, solo/cimento e solo/cimento/borra oleosa ácida, além da água. As curvas de compactação são apresentadas nas Figuras 3 e 4.

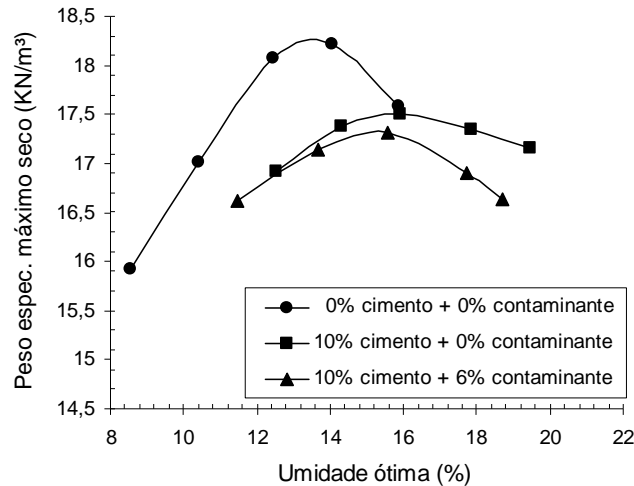


Figura 3 - Curvas de compactação do solo natural, solo + 10% de cimento e solo + 10% de cimento + 6% de borra oleosa ácida.

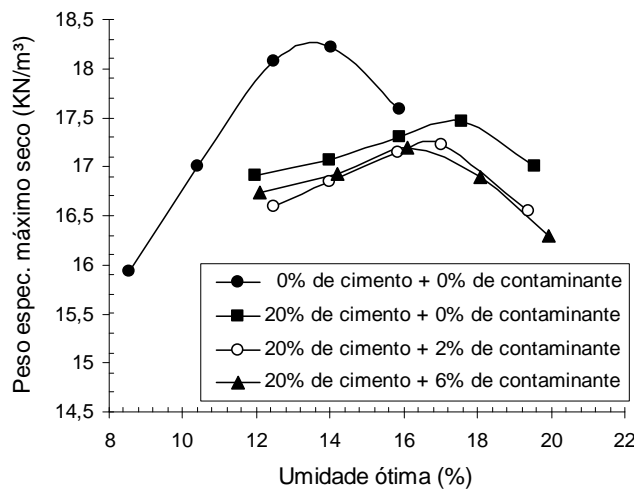


Figura 4 - Curvas de compactação do solo natural, solo + 20% de cimento e solo + 20% de cimento + 2% e 6% de borra oleosa ácida.

Os resultados, tanto de umidade ótima quanto de peso específico máximo seco, em amostras cimentadas, estão muito próximos. Em função disso, optou-se por utilizar a média dos resultados obtidos nas curvas de compactação de solo/cimento e solo/cimento/contaminante como parâmetro de moldagem dos corpos-de-prova contaminados

e encapsulados. Para a amostra natural, a umidade ótima foi de 13,5%, e o peso específico, de 18,25  $\text{KN/m}^3$ . Em amostras cimentadas e contaminadas, a média de umidade ótima foi de 15,73% e 16,82%, e o peso específico médio, de 17,42  $\text{KN/m}^3$  e 17,31  $\text{KN/m}^3$  para 10 e 20% de cimento, respectivamente.

### 3.2 Lixiviação em coluna

Foram realizados 7 (sete) ensaios de lixiviação em coluna, conforme os procedimentos descritos pela ASTM D 4874. Uma amostra sem contaminação e sem agente cimentante foi submetida ao ensaio para a obtenção de uma amostra branca.

Com o objetivo de obter uma amostragem significativa de lixiviado, decidiu-se que a coleta dar-se-ia por encerrada a partir do momento em que o volume extraído ultrapassasse 1 (uma) vez o volume de vazios do corpo-de-prova.

Para cada ensaio de lixiviação em

coluna, obtiveram-se tempos diferentes de coleta, sendo que algumas amostras foram ensaiadas por até 17 dias. A Tabela 1 apresenta a quantidade de lixiviado coletado, a relação dos volumes de coleta e de vazios, e o tempo aproximado de coleta para cada amostra.

Observa-se que o aumento da quantidade de borra oleosa ácida em amostras com a mesma quantidade de cimento gerou uma diminuição no tempo de coleta do lixiviado, ou seja, tornou o composto encapsulado um material mais permeável, facilitando o fluxo da água destilada pelo corpo-de-prova.

**Tabela 1 - Dados referentes aos ensaios e coletas do lixiviado.**

Amostra	Dosagem		Volume de vazios (cm <sup>3</sup> )	Volume coletado (cm <sup>3</sup> )	Relação volumes	Tempo de coleta (dias)
	Cimento (%)	Borra (%)				
Branca	0	0	775,29	801,25	1,033	04
Lix 01	0	2	729,45	752,23	1,031	13
Lix 02	0	6	665,05	702,28	1,056	17
Lix 03	10	2	825,73	879,58	1,065	06
Lix 04	10	6	768,79	821,89	1,069	04
Lix 05	20	2	853,92	875,56	1,025	05
Lix 06	20	6	801,24	832,47	1,039	02

### 3.3 Análise química do lixiviado

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nas análises químicas e físico-químicas das amostras submetidas aos ensaios de lixiviação em coluna.

Como níveis de referência utilizaram-se os teores obtidos a partir do lixiviado da amostra representativa do solo natural, chamada de amostra branca. Conjuntamente, compararam-se os valores padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de

emissão que lançassem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul (CONSEMA, 2006).

Através das análises químicas e físico-químicas dos variados lixiviados foi possível observar (Figura 5) que a DQO teve suas concentrações reduzidas com o aumento do teor de cimento para amostras contaminadas com a mesma quantidade de borra oleosa ácida. No entanto, como esperado, o aumento de contaminante gerou o aumento da DQO. Em geral observa-se que as concentrações

**Tabela 2 - Resultado das análises químicas dos ensaios de lixiviação em coluna.**

Amostra		DQO	DBO
Cimento (%)	Borra (%)	mgO <sub>2</sub> /L	mgO <sub>2</sub> /L
0	0	164	29
0	2	8.637	487
10	2	4.740	170
20	2	3.765	Não detectado
0	6	20.791	1.006
10	6	15.131	2
20	6	13.916	16

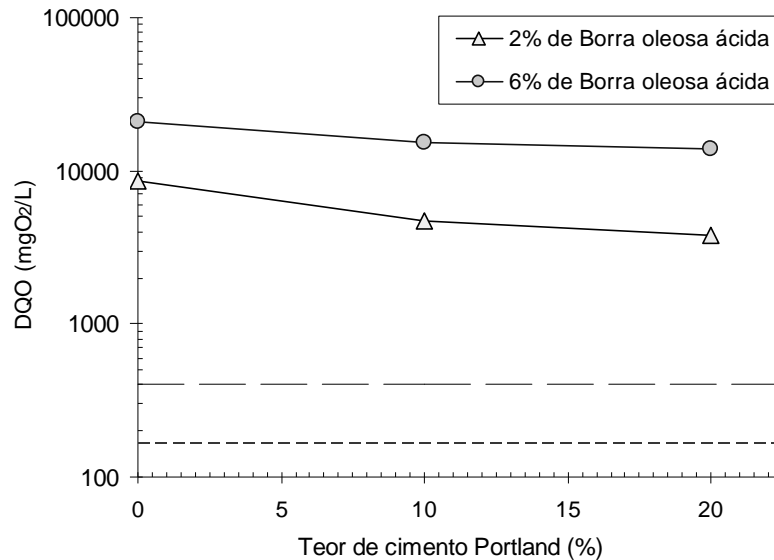
encontram-se acima dos valores estabelecidos pelo CONSEMA (2006) e pela amostra branca.

A demanda bioquímica de oxigênio do lixiviado apresenta uma redução com a adição

de 10 e 20% de cimento em amostras contaminadas com 2% de borra oleosa ácida, chegando a valores abaixo dos limites estabelecidos pelo CONSEMA (2006) para

10% de cimento e abaixo dos valores da amostra branca para 20% de cimento. Para as amostras contaminadas com 6% de borra oleosa ácida, ocorreu uma redução brusca de DBO para 10% de cimento, tendo um pequeno aumento para amostras que continham 20% de cimento. Porém, para as duas dosagens de

cimento, a DBO está abaixo dos valores de referência estabelecidos pelo CONSEMA (2006). Os resultados de 10 e 20% apresentam-se muito próximos se comparados com o resultado da DBO resultante da amostra contaminada e não encapsulada.



**Figura 5 - Demanda química de oxigênio das amostras contaminadas, tratadas e não tratadas com cimento.**

A Figura 6 apresenta o comportamento da DBO para as diferentes porcentagens de cimento e contaminante, juntamente com os valores de referência CONSEMA (2006) e amostra natural.

A existência e magnitude da matéria orgânica não biodegradável, em relação à parcela biodegradável, foram avaliadas através do cálculo da relação entre a demanda química de oxigênio (DQO) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Segundo a CETESB (2006), valores muito elevados desta relação indicam grandes possibilidades de insucesso, uma vez que a fração biodegradável se torna pequena, tendo-se, ainda, o tratamento biológico prejudicado pelo efeito tóxico sobre os microrganismos exercido pela fração não biodegradável, ou seja, o lixiviado terá mais características de não biodegradabilidade quanto maior for sua relação DQO/DBO.

A Figura 7 apresenta o gráfico de barras correspondente à relação DQO/DBO para cada dosagem de cimento e borra oleosa

ácida analisada. Para a amostra natural, não representada na Figura 7, a relação foi de aproximadamente 6.

É possível observar que o aumento de 2 para 6% de borra oleosa ácida em amostras não cimentadas não gerou um aumento significativo na relação da DQO/DBO. Para as demais dosagens, observa-se que o aumento de cimento em amostras contaminadas com 2% de borra oleosa ácida gera um aumento da relação entre a DQO/DBO. Já para amostras encapsuladas e contaminadas com 6% de borra oleosa ácida, há uma redução da relação entre os dois parâmetros analisados.

Devido aos altos valores obtidos, quando comparados à amostra branca, pode-se afirmar que o lixiviado possui uma baixa biodegradabilidade, sendo que um dos fatores preponderantes para justificar os altos valores encontrados entre a relação dos parâmetros de interesse são os elevados teores de DQO e a eficiência do cimento em reduzir os valores de DBO para todas as amostras analisadas.

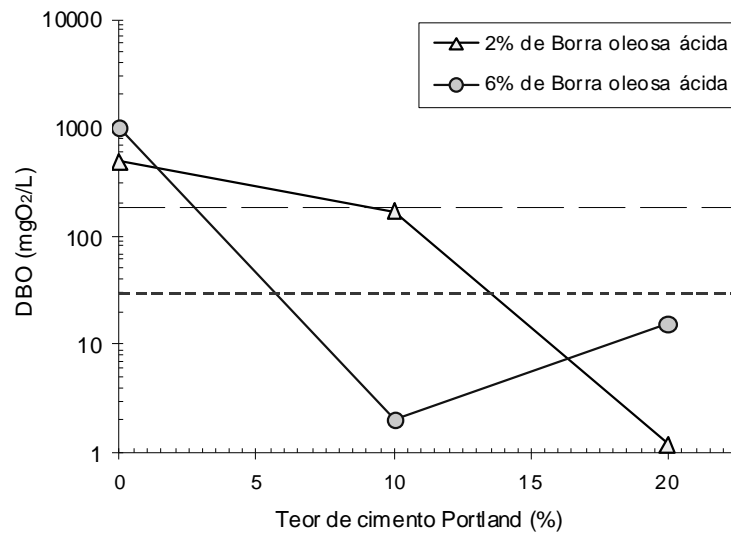


Figura 6 - Demanda bioquímica de oxigênio das amostras contaminadas, tratadas e não tratadas com cimento.

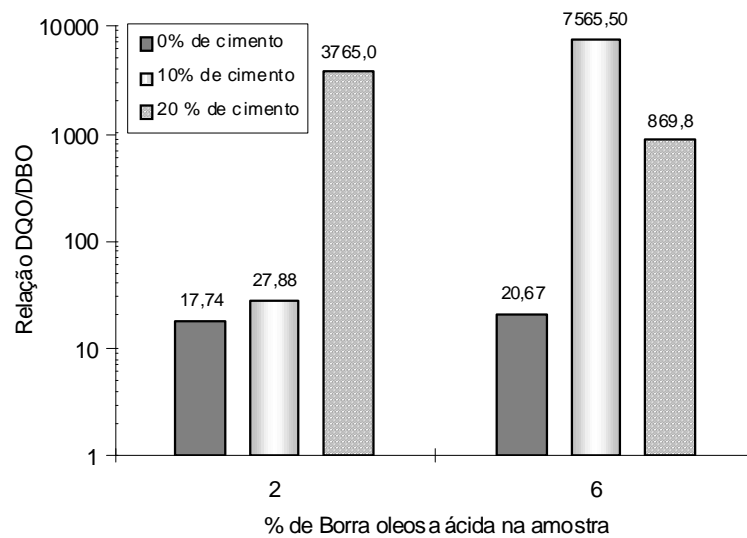


Figura 7 - Relação DQO/DBO para cada dosagem de cimento e borra oleosa ácida analisada.

### 3.4 Avaliação da redução de poluentes quanto ao comportamento químico

A avaliação da redução de poluentes devido ao processo de encapsulamento do contaminante borra oleosa ácida presente no solo foi realizada com base nos resultados das análises químicas dos ensaios de lixiviação em coluna, calculando a porcentagem de redução de poluentes disponíveis para a lixiviação antes e após o tratamento.

A porcentagem de redução ou taxa de redução, foi calculada através da equação sugerida por LaGrega (2001),

$$\text{Taxa de Redução} = \frac{(\text{CNT} - \text{CT})}{(\text{CNT})} \times 100$$

onde:

CNT = Concentração do parâmetro não tratado,

CT = Concentração do parâmetro tratado.

A elevada taxa de redução implica resultados satisfatórios do processo de encapsulamento. A Tabela 3 apresenta as taxas de redução calculadas para as amostras contaminadas e tratadas com 10 e 20% de cimento, comparadas com as amostras com a



mesma quantidade de contaminante, porém, sem a adição de cimento.

Para amostras de lixiviado contaminadas com 2% de borra oleosa ácida, tratadas com 10 e 20% de cimento, a DQO apresentou uma taxa de redução baixa, entorno de 45 e 56%, respectivamente.

Para amostras contaminadas com 6% de borra oleosa ácida e encapsuladas com 10% de cimento, a DQO sofreu uma redução próxima a 25%. Já para amostras encapsuladas com 20% de cimento, os resultados demonstram que a DQO apresenta uma taxa de redução inferior a 35%.

**Tabela 3 - Taxas de redução das amostras contaminadas e encapsuladas.**

Parâmetro	Taxa de Redução (%)			
	10% de cimento 2% de Borra	20% de cimento 2% de Borra	10% de cimento 6% de Borra	20% de cimento 6% de Borra
DBO	65,09	100,00	99,80	98,41
DQO	45,12	56,41	27,22	33,07

#### 4 Conclusões

A tendência observada nas curvas de compactação com adição de cimento, quando comparada às curvas de compactação do solo natural, é de que quanto maior for o teor de cimento nas misturas, maior será a umidade ótima e menor o peso específico máximo seco.

O agente encapsulante (cimento Portland) e o contaminante (borra oleosa ácida) provocaram um achatamento nas curvas de compactação quando comparadas à curva de solo natural. Esse comportamento reflete uma menor sensibilidade do peso específico máximo seco às variações do teor de umidade.

O elevado teor de demanda química de oxigênio caracteriza uma grande proporção de matéria orgânica no lixiviado das amostras contaminadas com 2 e 6% de borra oleosa ácida.

A partir do cálculo da taxa de redução dos poluentes, pode-se confirmar que para as amostras contaminadas com 2% de borra oleosa ácida a adição de cimento não se mostrou eficaz na redução das concentrações

DQO, enquanto para as amostras contaminadas com 6% de borra oleosa ácida, o cimento, não importando a quantidade, não se mostrou eficaz, ou se mostrou com pouca eficácia para a redução da DQO.

Através da análise do encapsulamento do solo contaminado pode-se afirmar que a técnica de encapsulamento que utiliza teores de até 20% de cimento não apresenta resultados satisfatórios para a retenção e/ou controle da demanda química de oxigênio no lixiviado.

Para a demanda bioquímica de oxigênio, a técnica mostrou-se eficaz, reduzindo a concentração de DBO, deixando-a abaixo dos limites exigidos por órgãos ambientais para as amostras tratadas com 10 e 20% de cimento Portland.

A relação entre a demanda química de oxigênio pela demanda bioquímica de oxigênio indica que o lixiviado das amostras contaminadas, tratadas e não tratadas, deve ser considerado como um material inerte de baixa biodegradabilidade.

#### 5 Application of the encapsulation technique in soil contaminated with oily acid sludge

**Abstract:** *The objective of this work is to study the encapsulation technique, also known as solidification/stabilization, in a soil contaminated with industrial residues composed of oily acid sludge. The methodology used was based on column leaching tests, along with chemical analyses of the leached material in samples containing increased amounts of Portland cement CP-V ARI as the encapsulating agent. Results showed that the encapsulation technique proved to be efficient in the reduction of biochemical oxygen demand (BOD). However, due to high values of the COD/BOD ratio, it can be affirmed that the leached material possesses a low bio-degradable potential.*

**Key-words:** Encapsulation. Contaminated soil. Portland cement.

**REA – Revista de *estudos ambientais***  
**v.9, n.2, p. 6-15, jul./dez. 2007**

## 6 Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21<sup>a</sup>.ed. Washington, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *D 4874*. **Standard test method for leaching solid material in a column apparatus**. Philadelphia, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7181. Solo - **Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6457. **Amostras de Solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7182. **Solos – Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12023. **Solo-cimento – Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 1992.

AZAMBUJA, Eduardo; CANCELIR, Dione B.; NANNI, Arthur S.; Contaminação dos solos por LNAPL: Discussão sobre diagnóstico e remediação. In: **II Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul – GEOSUL**. 2000, Porto Alegre, 2000, p.185-201.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Variáveis de qualidade das águas**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.as>>. Acesso em: nov. 2006.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (CONSEMA). **Dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul**. Resolução CONSEMA n 128, 9p. 2006, Porto Alegre.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Solidification Stabilization use at superfund sites**. EPA-542. Washington. 1991.

LAGREGA, M. D.; BUCKINGHAM P. L.; EVANS, J. C. **Hazardous waste management and environmental resources management**. 2nd Edition, 1157p. 2001.

MAYERS, T.E; EAPPI, M.E. **Laboratory evaluation of stabilization/solidification technology for reducing the mobility of heavy metals in new Bedford harbor superfund site sediments stabilization of hazardous radioactive and mixed**

**wastes**. Second edition. ASTM publication, Philadelphia, 304p. 1992.

NEDER, Lúcia de Toledo C.; PASSOS, José Artur L. Encapsulamento: uma técnica moderna de processamento de resíduos sólidos perigosos. In: **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 1999, Porto Alegre, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 1999.

OLIVEIRA, Débora Machado de; CASTILHOS JUNIOR, A. B.; MIOTELLO, Eduardo. Avaliação da solidificação/ estabilização de borras oleosas utilizando caulinita e vermiculita como materiais adsorventes. In: **22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2003, Joinville, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2003.

PIRES, José Carlos de Araújo; FERREIRA, João Alberto; RITTER, Elisabeth; CAMPOS, Juacyara Carbonelli; MANNARINO, C. F. Projeto experimental de tratamento de chorume produzido no aterro metropolitano de gramacho através de wetland. In: **22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2003, Joinville, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2003.

SCHWARZ, Lois G.; KRIZEK Raymond J. Hydrocarbon Residuals and Containment in Microfine Cement Grouted Sand. **Journal of Materials in Civil Engineering**. V. 18, n. 2, 214-228, 2006.

STERGEMANN, J.A.; BUENFELD, N.R. Prediction of leachate pH for cement paste containing pure metal compounds. **Elsevier, Journal of Hazardous Materials**. Amsterdam, v. B90. p. 169-188. 2002.

U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). **Tractability Studies for Solidification/Stabilization of Contaminated Material**. Technical Letter N° 1110-1-158. Washington, 1995.

## 7 Agradecimentos

Os autores agradecem ao PRONEX-FAPERGS (Processo 04/0841.0) e ao CNPq (Projetos Edital Universal 2004, 472643/2004-5 e Produtividade em Pesquisa 300832/2004-4) pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa. Além disto, o primeiro autor gostaria de registrar os agradecimentos à unidade financiadora de sua bolsa de mestrado, a CAPES.