

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo pesquisado para ser utilizado como forma de tratamento de lixiviado provém do Aterro Sanitário de Rio das Ostras. É uma argila arenosa com pedregulhos de coloração amarela clara que contém 59% de fração argila (fração < 5 µm e um índice de plasticidade de 31%) . O argilo-mineral predominante é a caulinita com capacidade de troca catiônica de 2,9 cmol/Kg. O pH determinado em uma mistura de solo e água destilada e deionizada na proporção de 1:5 foi de 6,2.

O ensaio de compactação Proctor Normal realizado definiu a massa específica aparente seca máxima 15,5 kN/m³ e umidade ótima 24,0%. O valor de permeabilidade de carga variável de uma amostra compactada na umidade ótima foi de $1,9 \times 10^{-7}$ cm/s (Pires, 2007).

Os lixiviados estudados são provenientes de três Aterros: Sanitário de Rio das Ostras (ASRO), Controlado de Morro do Céu (AMC), e de um aterro controlado de grande porte (AGP). Neste capítulo são apresentados os lixiviados pesquisados e os resultados de ensaios de sorção (Método CSI e ECI) e de difusão obtidos.

4.1 – Caracterização dos lixiviados dos Aterros de Rio das Ostras, Morro do Céu e de Aterro de grande porte.

Foram utilizados nestes ensaios lixiviados de Rio das Ostras proveniente de três coletas: 29/05/07; 14/08/07 e 30/11/07, lixiviado de Morro do Céu coletado em 15/05/07 e lixiviado do aterro de grande porte coletado em 28/08/07 e 06/11/07.

A Tabela 8 apresenta as análises efetuadas nos lixiviados dos três aterros. Os principais íons pesquisados foram NH₄⁺, K⁺, Na⁺, Ca²⁺ e Cl⁻, além de valores DQO, unidades de cor, pH e condutividade.

Os valores de pH nos seis lixiviados variaram entre 7 e 8, a condutividade foi muito próxima de 8 mS/cm nos três lixiviados de Rio das Ostras e cerca de 25 mS/cm para os dois lixiviados do aterro de grande porte.

Os valores encontrados para cloreto nos três lixiviados de Rio das Ostras e no lixiviado de Morro do Céu apresentaram uma variação entre cerca de 1.200 a 1.600 mg/L, enquanto os do aterro de grande porte variaram de 5.000 a 9.000 mg/L. Houve uma relação entre o aumento da condutividade e o aumento da quantidade de cloreto.

O nitrogênio amoniacal seguiu um padrão entre 450-500 mg/L para Rio das Ostras e cerca 1.000 – 1.300 mg/L para o aterro de grande porte.

Os valores de DQO medidos nos cinco lixiviados apresentaram uma diferença bastante acentuada no ASRO nas duas primeiras coletas não passou de 600 mg/L. Na terceira coleta o ASRO apresentou comportamento próximo aos lixiviados do aterro de grande porte 3.000 mg/L o que pode ser atribuído ao local dessa coleta de Rio das Ostras, que devido às chuvas excessivas na região, foi modificado. Em Morro do Céu o valor da DQO foi menor que 1.200 mg/L

A relação DBO₅/DQO para o lixiviado de Rio das Ostras foi de 0,81, indicando um aterro jovem e para os dois lixiviados do aterro de grande porte foi de 0,061, indicando um aterro consolidado. A cor apresentou valores acima de 5.000 mg Pt/L no aterro de grande porte e valores abaixo de 150 mg Pt/L para o ASRO.

Tabela 8 - lixiviados dos três aterros utilizados nos ensaios de sorção e difusão

Amostra	Lixiviado de Rio das Ostras			Lixiviado de Morro do Céu	Lixiviado de Aterro de Grande Porte	
	29/05/07	14/08/07	30/11/07		15/05/07	28/08/07
Data da coleta	29/05/07	14/08/07	30/11/07	15/05/07	28/08/07	6/11/07
pH	8,05	8,19	7,62	7,68	8,45	8,0
Turbidez	-	-	193	5,5	-	-
Nitrito (mg/L)	0,17	-	< 0,01	< 0,001	-	-
Alcalinidade (mg/L)	3.695	-	3.670	5.155	-	-
Condutividade (mS/cm)	8,59	8,83	7,83	-	24,5	21,1
Cloreto (Cl ⁻) (mg/L)	1.275	1.452	1.190	1.666	5.348	9.975
DBO ₅ (mg/L)	-	-	2.421	-	218	208
DQO (mg/L)	511	633	2.994	1.143	3.592	3.403
Na ⁺ (mg/L)	700	1.032	883	-	2.346	-
K ⁺ (mg/L)	700	1.091	776	-	2.382	-
N-NH ₃ (mg/L)	445	494	536	779	1.302	965
Ca ⁺² (mg/L)	60	67	308	-	44	-
SST (mg/L)	83	70	-	60	-	-
SDT (mg/L)	1.832	-	-	4.737	-	-
ST (mg/L)	3.470	-	-	4.780	-	-
Cor (mg Pt-Co/L)	85	122	-	256	7.125	5.106

- não determinado

4.2 – Ensaios de Equilíbrio em Lote – Sorção

4.2.1 Ensaios de equilíbrio em Lote pelo Método CSI (solo constante)

A razão solo:solução utilizada foi de 1:10, conforme adotado por Pires (2007). Os valores do tempo de equilíbrio para os cátions pesquisados foram determinados experimentalmente para o lixiviado do Aterro Sanitário de Morro do Céu e estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Intervalos de tempo de equilíbrio para o lixiviado do Aterro de Morro do Céu

Parâmetro	Amônio NH ₄ ⁺	Sódio Na ⁺	Cálcio Ca ⁺	Potássio K ⁺
Intervalo do tempo de equilíbrio (h)	48	24	24	24

Os valores de tempo de equilíbrio determinados por Pires (2007) para o lixiviado do Aterro de Rio das Ostras foram: 24 h para os íons Cl⁻, Na⁺, K⁺ e Ca²⁺ e 48 h para o íon NH₄⁺. Os ensaios para determinação do tempo de equilíbrio indicam que o maior valor encontrado, 48 horas para o nitrogênio amoniacal foi, então, escolhido como o tempo de equilíbrio para todos os ensaios de sorção pelo Método CSI. A adoção deste intervalo de tempo não prejudica os outros parâmetros, visto que, se em 24 horas os demais parâmetros estudados atingem a concentração de equilíbrio em 48 horas mantêm esta condição.

Os resultados dos ensaios de sorção pelo método CSI encontram-se nos Anexos I, II e III, para ASRO, AMC e de AGP respectivamente e geraram as isotermas.

As Figuras 36; 37 e 38 apresentam as isotermas pelo Método CSI obtidas para os íons amônio e potássio nos 3 lixiviados. Observa-se que as isotermas de sorção obtidas são lineares. O coeficiente angular da reta é o valor do coeficiente de distribuição K_d. Ressalta-se que nestas curvas somente foram os considerados melhores pontos para ajuste das curvas, situação que não é a ideal. No Anexo IV encontram-se os gráficos para cada um dos quatro íons estudados, com todos os pontos determinados a partir dos ensaios efetuados, nos três lixiviados. A Tabela 10 apresenta os valores de K_d determinados com os respectivos coeficientes de correlação (R²).

Para o íon amônio com o lixiviado de Rio das Ostras, o coeficiente de correlação da reta (R²) de 0,55 para K_d = 1,7 cm³/g, é um valor baixo. No entanto se retiramos o valor mais afastado da reta (2º ponto) o valor de K_d será para 1,6 cm³/g com (R²) = 0,89. Com os demais lixiviados, os ajustes para o amônio foram bons. Para o íon potássio os ajustes foram possíveis com três pontos para o AGP.

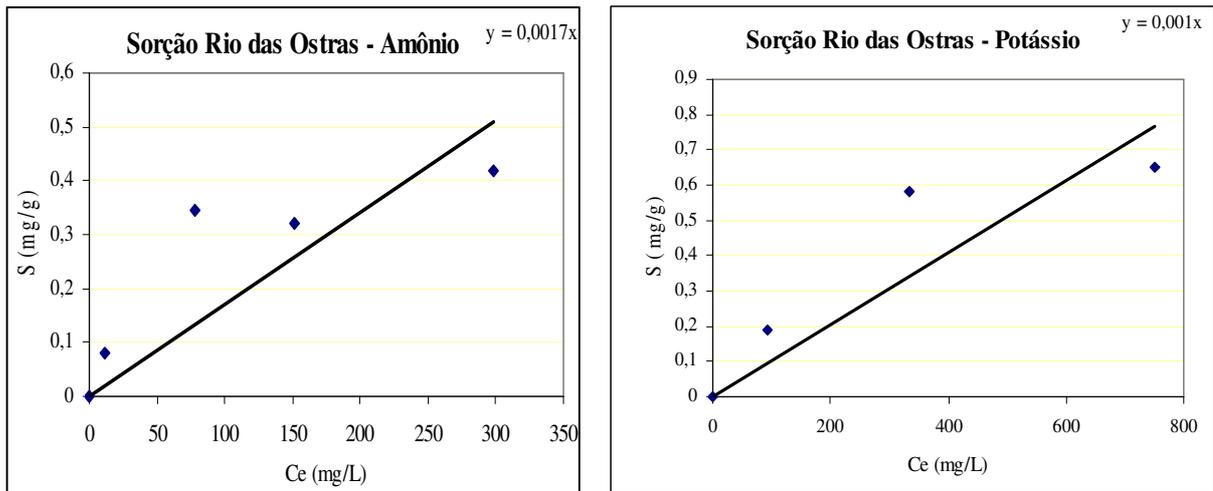
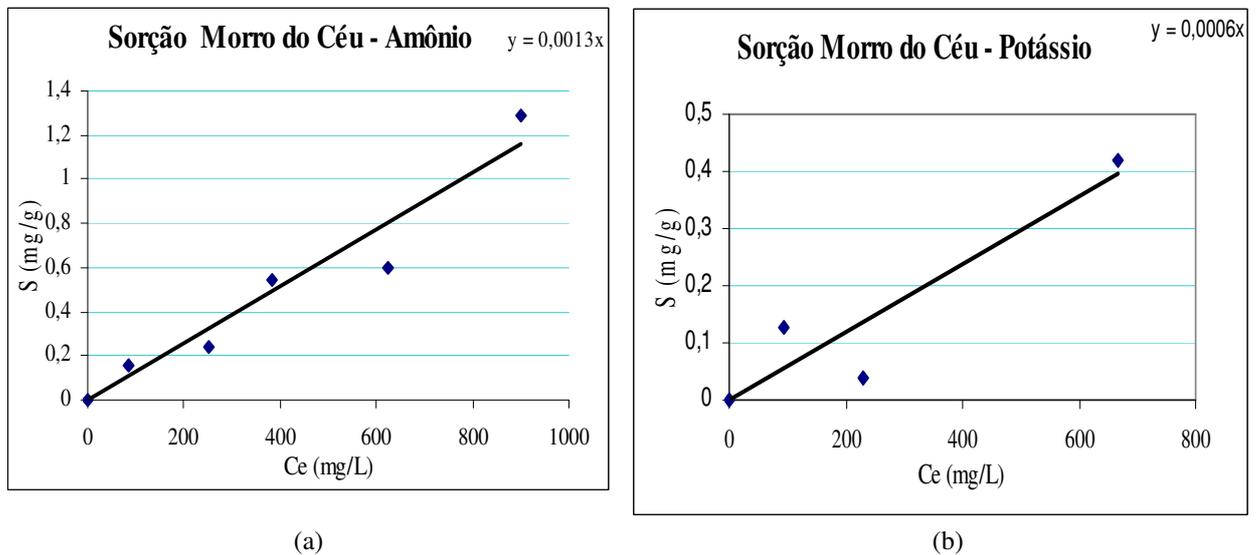


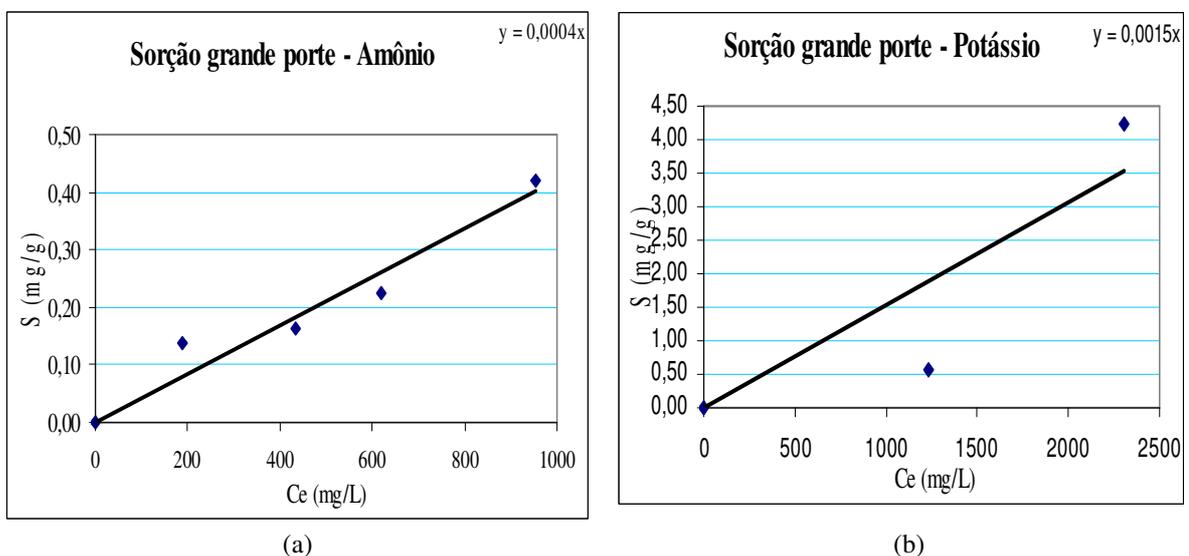
Figura 36– Isotermas de sorção para os íons amônio e potássio de Rio das Ostras.



(a)

(b)

Figura 37– Isotermas de sorção para os íons amônio (a) e potássio (b) de Morro do Céu.



(a)

(b)

Figura 38 – Isotermas de sorção para os íons amônio (a) e potássio (b) do aterro de grande porte.

Figuras 39, 40 e 41 apresentam os resultados para os íons sódio e cálcio com os três lixiviados. Não foi possível traçar isotermas, exceto para o íon sódio do aterro de grande porte. Nos outros dois lixiviados não houve um padrão de sorção ou dessorção de sódio tanto para Rio das Ostras como para Morro do Céu. Os resultados obtidos para o íon cálcio apresentaram um comportamento muito similar para os lixiviados dos ASRO e AMC, apesar das diferenças de idades entre os dois Aterros. Ocorreu uma sorção significativa com a concentração de equilíbrio em torno de 6 a 16 mg/L, indicando que pode ter havido uma saturação destes solos pelos íons cálcio. Não foi possível traçar uma isoterma, conforme se observa nas Figuras 39 e 40. Sendo o Cálcio um íon divalente esta tendência indica que o solo do ASRO poderia ser útil para tratamento de metais pesados que são di ou trivalentes em sua maioria. O lixiviado do aterro de grande porte não apresentou sorção ou dessorção para o íon cálcio e os valores se mantiveram próximos a zero.

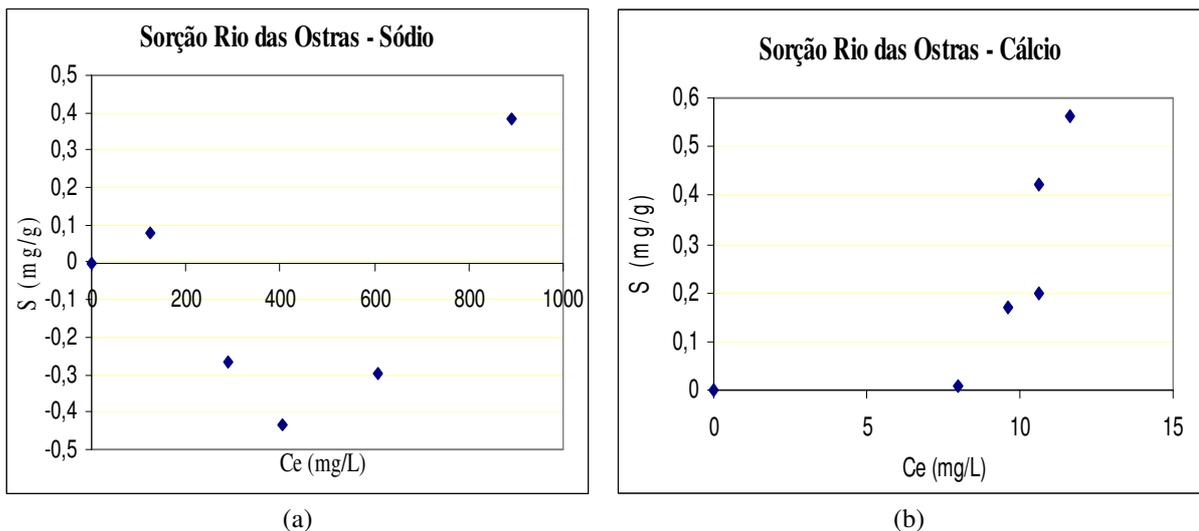


Figura 39 – Isotermas de sorção para os íons sódio (a) e cálcio (b) de Rio das Ostras.

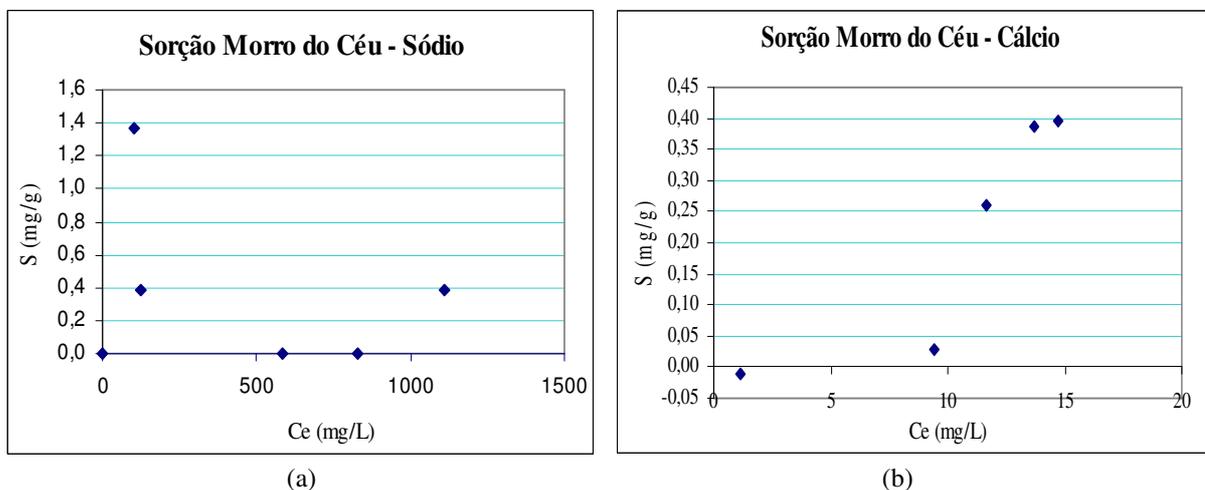


Figura 40 - Isotermas de sorção dos íons sódio(a) e cálcio (b) de Morro do Céu.

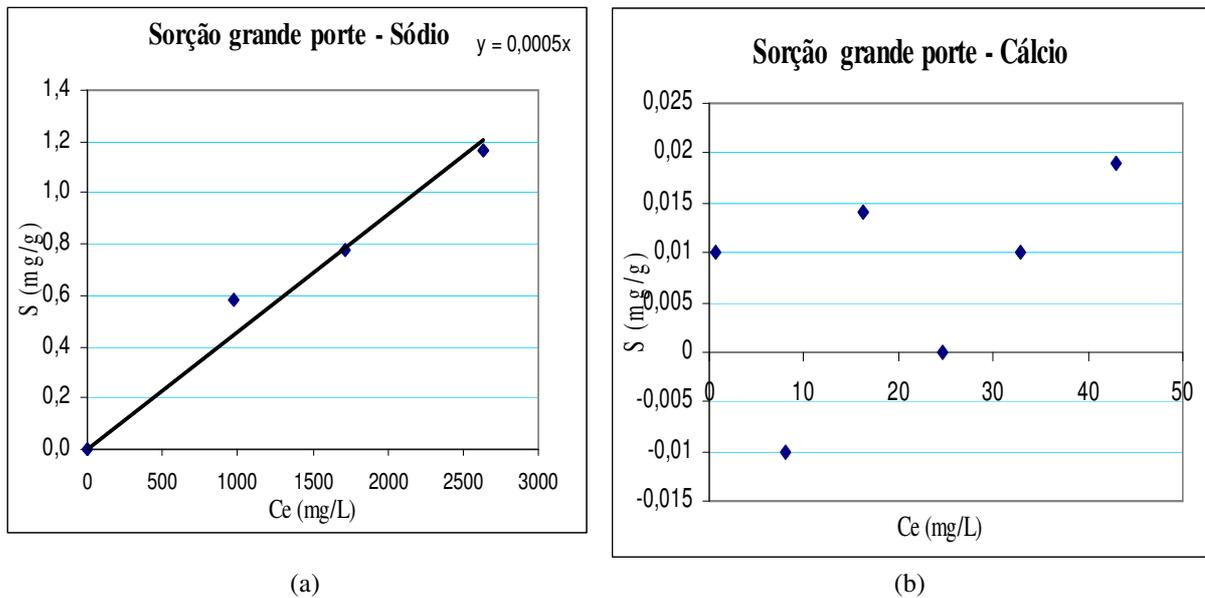


Figura 41 – Isothermas de sorção para os íons sódio (a) e cálcio (b) do AGP.

Os coeficientes de distribuição (K_d) determinados estão apresentados na Tabela 10 assim como os coeficientes de correlação das retas (R^2) que variaram entre 0,54 e 0,99.

Observa-se uma sorção maior para o íon amônio no lixiviado do ASRO $K_d = 1,7 \text{ cm}^3/\text{g}$ e menor para o do AGP $K_d = 0,4 \text{ cm}^3/\text{g}$. O íon potássio apresentou maior sorção no lixiviado do AGP, $K_d = 1,5 \text{ cm}^3/\text{g}$, e em ASRO $K_d = 1,0 \text{ cm}^3/\text{g}$ e $K_d = 0,6 \text{ cm}^3/\text{g}$ em AMC. O fato de o íon amônio ter valores de K_d maiores do que o potássio pode ser explicado pela influência da menor massa molecular do íon amônio.

Os valores de K_d para amônio e potássio obtidos por Pires (2007) utilizando solo e lixiviado de Rio das Ostras foram $1,3 \text{ cm}^3/\text{g}$ e $1,8 \text{ cm}^3/\text{g}$ respectivamente, indicando para o íon amônio uma sorção próxima aos resultados obtidos para Rio das Ostras no presente estudo e bem maior do que a obtida para o íon potássio.

O íon sódio obteve um coeficiente de correlação que se ajustou ao modelo linear apenas para o lixiviado do aterro de grande porte, apresentando um coeficiente de correlação entre 0,8 – 0,99. Para os demais aterros foi adotado $K_d = 0$.

Tabela 10 – Coeficientes de distribuição - K_d para os três lixiviados.

Lixiviado	Parâmetro	Amônio	Potássio	Sódio
Aterro Sanitário de Rio das Ostras (ASRO)	K_d (cm^3/g)	1,7	1,0	adotado $K_d = 0$
	(R^2)	0,55	0,99	
Aterro de Morro do Céu (AMC)	K_d (cm^3/g)	1,0	0,6	adotado $K_d = 0$
	(R^2)	0,90	0,86	
Aterro de grande porte (AGP)	K_d (cm^3/g)	0,4	1,5	0,5
	(R^2)	0,94	0,79	0,97

As Figuras 42 a 47 apresentam os resultados das medidas de pH e da condutividade durante os ensaios de sorção. Verifica-se que a condutividade dos 3 lixiviados não apresenta variação antes e depois da sorção, exceto a condição inicial de cada caso. O pH se manteve constante, próximo de 8 em todos os três casos nas diversas concentrações.

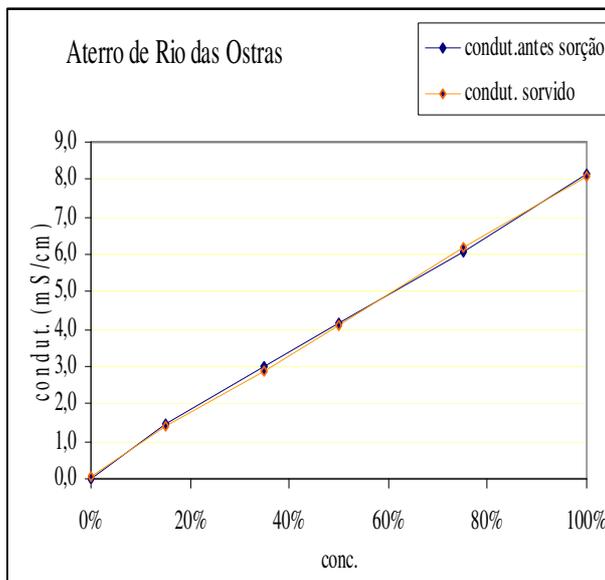


Figura 42 - Condutividade antes e depois da sorção.

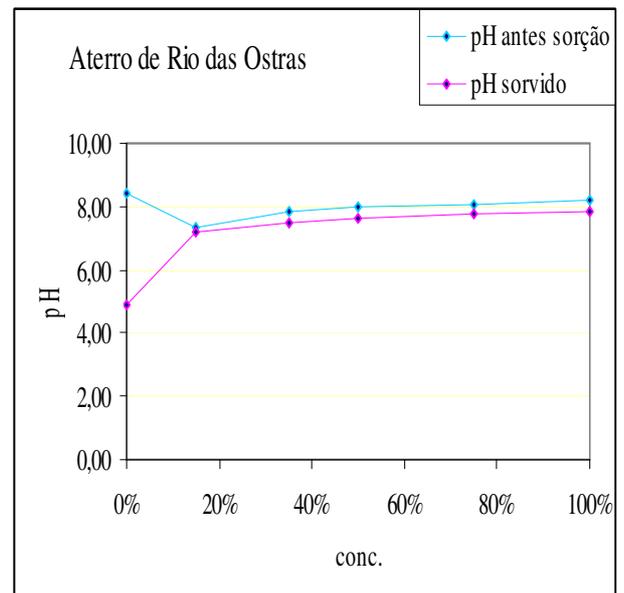


Figura 43 - pH antes e depois da sorção.

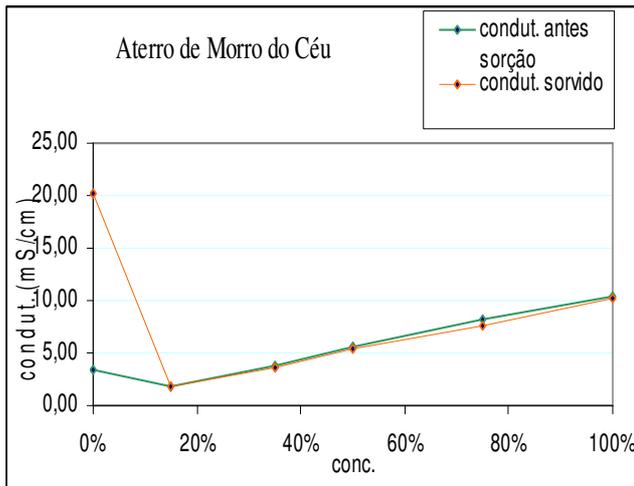


Figura 44 - Condutividade antes e depois da sorção.

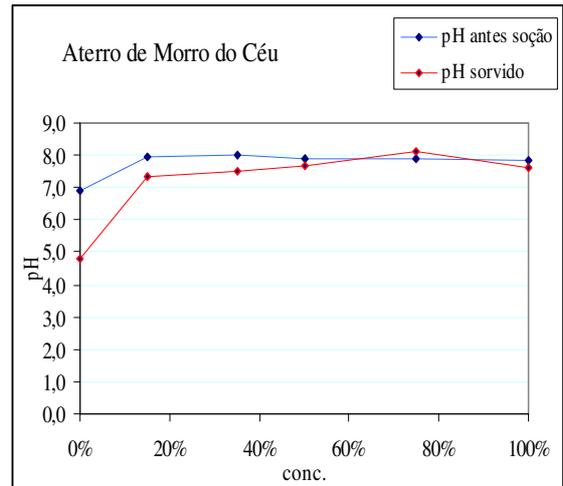


Figura 45 - pH antes e depois da sorção.

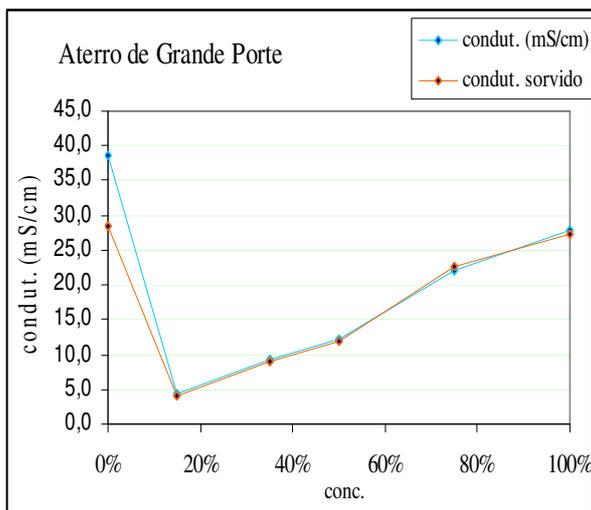


Figura 46 - Condutividade antes e depois da sorção.

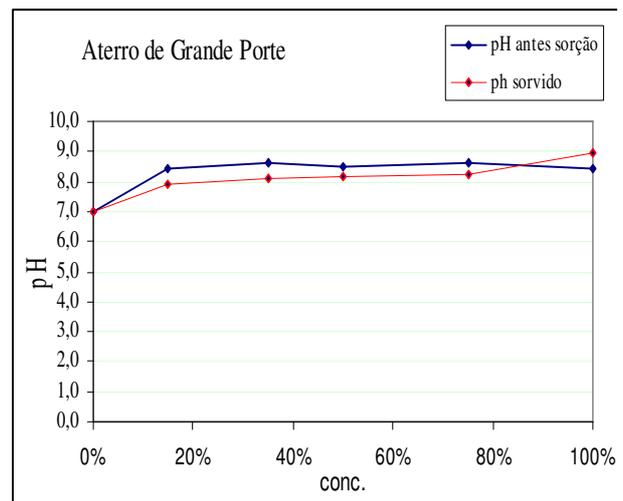


Figura 47 - pH antes e depois da sorção.

De modo a verificar o uso do solo argiloso de Rio das Ostras como forma de tratamento de lixiviado foram adotadas as medidas, acima de 50% de concentração de lixiviado que se mostraram mais significativas. A Tabela 11 apresenta a redução percentual nos parâmetros de cor, valores de DQO e concentrações dos íons amônio, sódio, potássio e cálcio.

Os resultados mais significativos de redução do íon amônio foram encontrados nos ensaios realizados com o lixiviado de Rio das Ostras. No caso do íon potássio só houve alguma redução nos ensaios, também, com o lixiviado de Rio das Ostras.

Pouco foi possível avaliar para o íon sódio, devido a dessorção apresentada, entretanto foi significativa a redução do íon cálcio para os lixiviados de Rio das Ostras e de Morro do Céu: entre 70 e 80%.

O lixiviado de Morro do Céu apresentou o melhor resultado para redução da cor, maior do que 60% em média. O lixiviado de Rio das Ostras apresentou redução maior do que 50% para cor, e DQO e os comportamentos mais homogêneos, havendo redução em quase todos os parâmetros estudados, quando se considera o solo como forma de tratamento.

O lixiviado do AGP não apresentou resultados consideráveis em nenhum dos parâmetros; destacou-se apenas na redução de cor em cujos resultados variaram entre 40 e 50%.

Tabela 11 - Redução % dos parâmetros estudados nos lixiviados dos três aterros

Lixiviado	Redução % cor	Redução % DQO	Redução % NH_4^+	Redução % Na^+	Redução % K^+	Redução % Ca^{+2}
Rio das Ostras 100%	54,00	41,51	29,80	13,00	24,3	83,50
Rio das Ostras 75%	53,47	60,43	12,80	Dessorção	5,10	80,60
Rio das Ostras 50%	67,07	66,29	18,00	13,00	15,20	75,10
Morro do Céu 100%	72,73	34,95	8,40	Dessorção	dessorção	74,70
Morro do Céu 75%	47,35	22,76	9,10	Dessorção	dessorção	73,80
Morro do Céu 50%	66,89	36,67	13,00	Dessorção	dessorção	70,00
Grande Porte 100% solo fixo	38,41	6,90	7,60	Dessorção	dessorção	2,30
Grande Porte 75 % solo fixo	46,76	19,20	4,40	Dessorção	dessorção	dessorção
Grande Porte 50% solo fixo	51,00	34,90	3,70	1,70	3,40	1,90

4.2.2 Resultados relacionados à redução de cor e valores de DQO nos 3 lixiviados

4.2.2.1 – Resultados da Redução da Cor

A partir dos resultados das absorvâncias foram calculadas as concentrações em mg Pt/L de cor dos três lixiviados nas três amostras, com 100%, 75% e 50% de lixiviado dos ensaios de sorção. Os valores estão apresentados na Tabela 12 para os Aterros de Rio das Ostras, Morro do Céu e grande porte, respectivamente.

Tabela 12 de Redução % de Cor dos Lixiviados dos Três Aterros

	AMOSTRA	conc. (mg Pt/L)	Diferença conc. inicial-final	redução % cor
Rio das Ostras	S 6 (100%)	85		
	R 6	39	46	54
	S 5 (75%)	70		
	R 5	33	38	53
	S 4 (50%)	45		
	R 4	15	30	67
Morro do Céu	S 6 (100%)	256	186	73
	A 6 (dil)	131		
	S 5 (75%)	249	118	47
	A5 (dil)	58		
	S 4 (50%)	174	117	67
	A4	58		
Grande Porte	S 6 (dil) (100%)	7124	2736	38
	A 6 (dil)	4388		
	S 5 (75%)	5140	2404	47
	A 5 (dil)	2736		
	S 4 (50%)	3481	1776	51
	A 4 (dil)	1705		

As Figuras 48, 49 e 50 permitem uma avaliação visual na redução de cor dos três lixiviados nas três soluções e no conjunto de soluções. Os valores indicam uma redução de cor entre 40% e 70%, com melhores resultados para o lixiviado do Aterro de Morro do Céu.



Figura 48 – Avaliação visual lixiviado de Rio das Ostras: (a) Solução e Sorvido a 50, 75 e 100% e (b) todas as soluções e sorções nas concentrações de 15, 35, 50, 75, 100%



(a)

(b)

Figura 49 - Avaliação visual usando lixiviado de Morro do Céu: (a) Solução e Sorvido a 100%, 75% e 50% e (b) solução e sorvido todas as concentrações, 15, 35, 50, 75 e 100%.



(a)

(b)

(c)

Figura 50 - Avaliação visual Lixiviado do AGP: (a) Solução e Sorvido a 50; 75 e 100%; (b) soluções e (c) sorvidos nas concentrações 0, 15, 35, 50, 75 e 100%.

O gráfico da Figura 51 apresenta os resultados encontrados para redução de cor; verificando-se uma tendência de maior redução de cor, 50%, na amostra de menor concentração 50% para o lixiviado do aterro de grande porte. Para a concentração de 100%, a redução de cor ficou próxima de 40%. No caso do lixiviado de Morro do Céu a tendência foi inversa: com o aumento da concentração de lixiviado, a redução da cor também foi maior (cerca de 70%). O lixiviado de Rio das Ostras apresentou um comportamento mais homogêneo nas concentrações 100 e 75%, não havendo muita variação na redução de cor, mas mantendo-se com valores superiores a 50%. No caso da concentração de 50% de lixiviado o resultado de redução de cor foi maior, próximo a 70%.

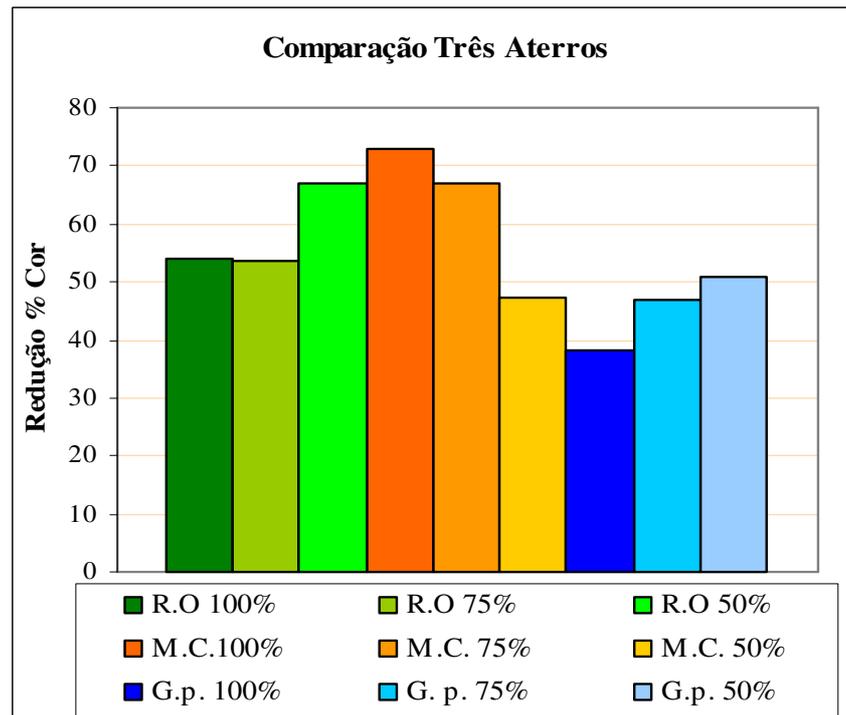


Figura 51 - Redução de cor dos lixiviados dos três aterros variando a concentração.

4.2.2.2 – Resultados da Redução dos Valores de DQO

A partir da análise de DQO nos três lixiviados apresentados na Tabela 13, elaboraram-se os gráficos da Figura 52 onde se verifica que o lixiviado de Rio das Ostras apresentou uma variação de redução de DQO entre 40% e 65% com maior redução na concentração mais baixa (50%).

O lixiviado de Morro do Céu apresentou um comportamento mais homogêneo nas concentrações 100, 75 e 50 % com uma redução de DQO, em torno de 30% - 35%. O aterro de grande porte mostrou a mesma tendência de Rio das Ostras, porém com redução máxima de 30%. Numa avaliação global se verifica a menor redução de DQO para as amostras do lixiviado do aterro de grande porte.

Tabela 13 - Redução % dos valores de DQO dos lixiviados dos três aterros

Local	amostra	Conc.(mg/L)	conc. inicial-final	Redução % DQO
Rio das Ostras	A6 (100%)	310	217	41,5
	S6	527		
	A 5 (75%)	193	294	60,4
	S 5	487		
	A 4 (50%)	97	185	66,3
	S 4	282		
Morro do Céu	A6 (100%)	821	357	30,4
	S6	1178		
	A 5 (75%)	649	191	31,0
	S 5	840		
	A 4 (50%)	494	172	36,7
	S 4	666		
Grande Porte	A6 (100%)	1811	134	6,9
	S6	1945		
	A 5 (75%)	933	595	19,2
	S 5	1528		
	A 4 (50%)	933	500	34,9
	S 4	1433		

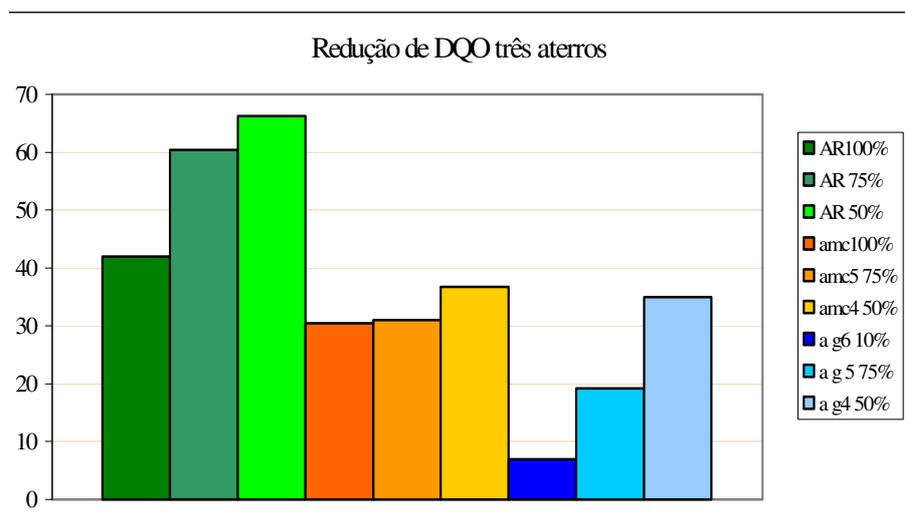


Figura 52– Redução dos valores de DQO nos lixiviados dos três aterros variando a concentração

4.3 - Ensaio de equilíbrio em Lote pelo Método ECI (lixiviado constante)

Devido à necessidade de uma avaliação mais aprofundada do comportamento dos parâmetros estudados durante a sorção foram realizados os ensaios de sorção pelo Método ECI (lixiviado constante e solo variando), contemplando apenas a redução de cor, DQO, pH e condutividade.

A escolha do lixiviado do aterro de grande porte deveu-se aos resultados mais críticos encontrados na sorção tradicional pelo Método CSI (lixiviado variando e solo constante) para este lixiviado. Os lixiviados após a sorção são mostrados na Figura 53. Os cálculos da redução de cor encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados de cor dos ensaios de sorção pelo Método ECI

Massa de Solo (g)	Conc. Solo:solução (g/L)	lix orig.- sorvido cor (mg Pt)	redução % cor
0,2	1,00	1396	66,09
0,4	2,00	1401	66,33
1,0	5,00	1417	67,06
3,5	18,00	1485	70,28
5,0	25,00	1620	76,70
6,8	38,00	1612	76,31
10,0	50,00	1690	80,00

A redução de cor apresentou um padrão de aumento da redução com o aumento da concentração de solo, de acordo com o gráfico da Figura 53. Na solução preparada com 1 g de solo por litro de lixiviado a redução de cor foi da ordem de 66%, no outro extremo dos ensaios a remoção de cor foi de 76 % para 50 g de solo /L de lixiviado do aterro de grande porte.

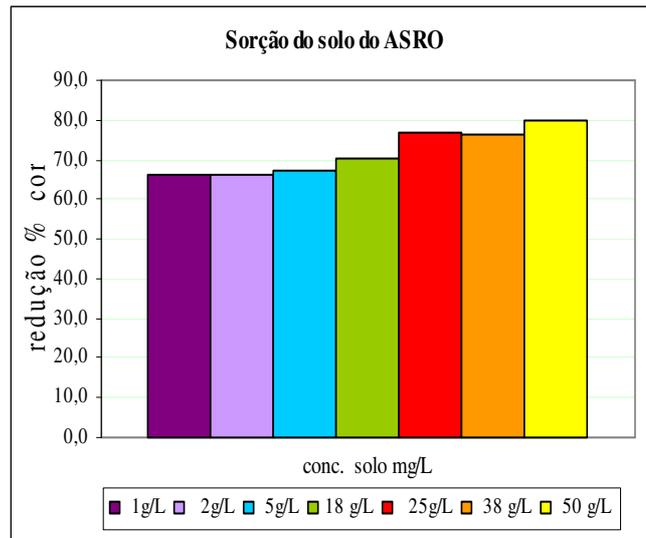
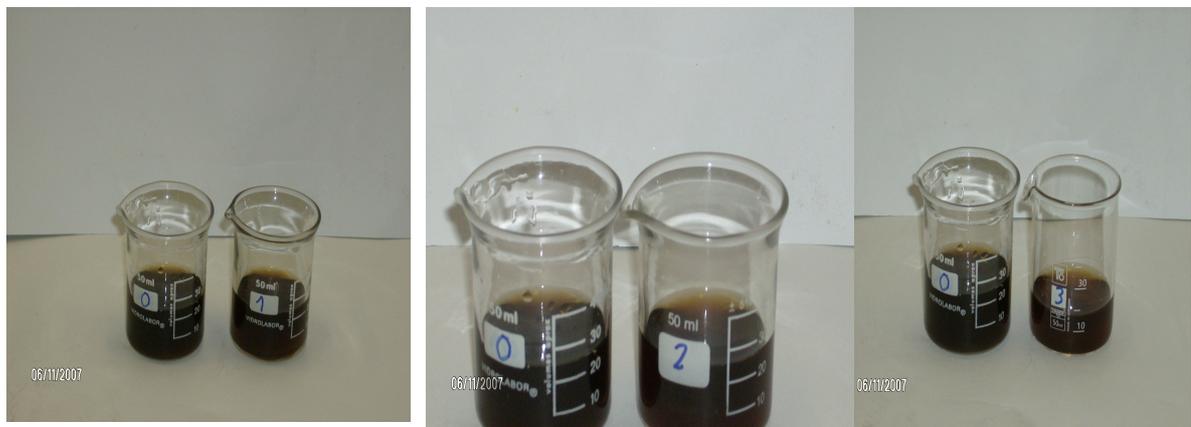


Figura 53 – Redução da Cor pelo Método ECI

Na faixa de 1 g/L até 5 g/L a redução de cor ficou entre 60 – 67 %, entretanto, (vide Figura 54 a, b, c) não foi possível fazer uma avaliação visual apurada devido à diferença de cor pouco acentuada.

A partir de 18 g/L até 50 g/L (relação solo/lixiviado) a redução de cor ficou na faixa de 70 – 80 %; as comparações visuais das concentrações 18, 38 e 50 g/L podem ser avaliadas na Figura 55 a, b, c. Os resultados encontrados indicam que a melhor faixa de concentração de solo, visando o uso do solo como tratamento, é a de 1 até 5 g/L, visto apresentar quase 70% de redução com uma quantidade menor de solo.

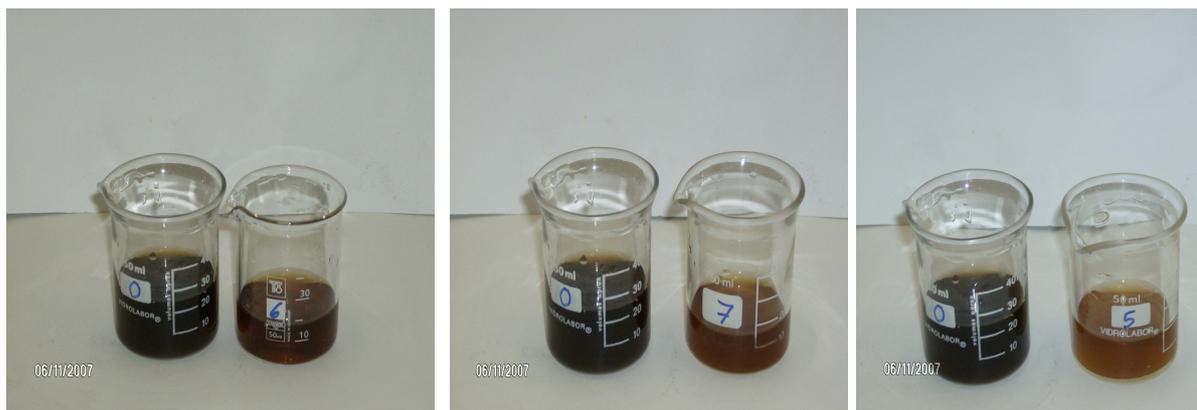


(a) 1 g/L

(b) 2 g/L

(c) 5 g/L

Figura 54 – Verificação da semelhança de cor em três soluções e pelo Método ECI.



(a) conc. 18 g/L (b) conc. 38 g/L (c) conc. 50 g/L
 Figura 55 - Comparação redução de cor em três soluções pelo Método ECI.

A capacidade de sorção do solo do ASRO, com relação às misturas de substâncias que conferem cor ao lixiviado, foi também ensaiada pelo Método de ECI. O gráfico da Figura 56 apresenta os pontos experimentais e a isoterma de ajuste. O coeficiente angular da reta, representado pela linha de tendência, é a capacidade de sorção do solo em mg-Pt/g, sendo o valor encontrado foi de 29,5 mg Pt ou unidades de cor por grama de solo. O ajuste (R^2) para esta reta ficou em 0,79.

Os ensaios de sorção promoveram uma redução de cor sugerindo que as moléculas presentes no lixiviado responsáveis pela cor foram adsorvidas pelo solo argiloso precipitando na superfície dos grãos. O solo ligeiramente ácido favorece o comportamento dos contaminantes devido à provável expansão do espaçamento basal do mineral argiloso, conforme apresentado por Coelho (2007).

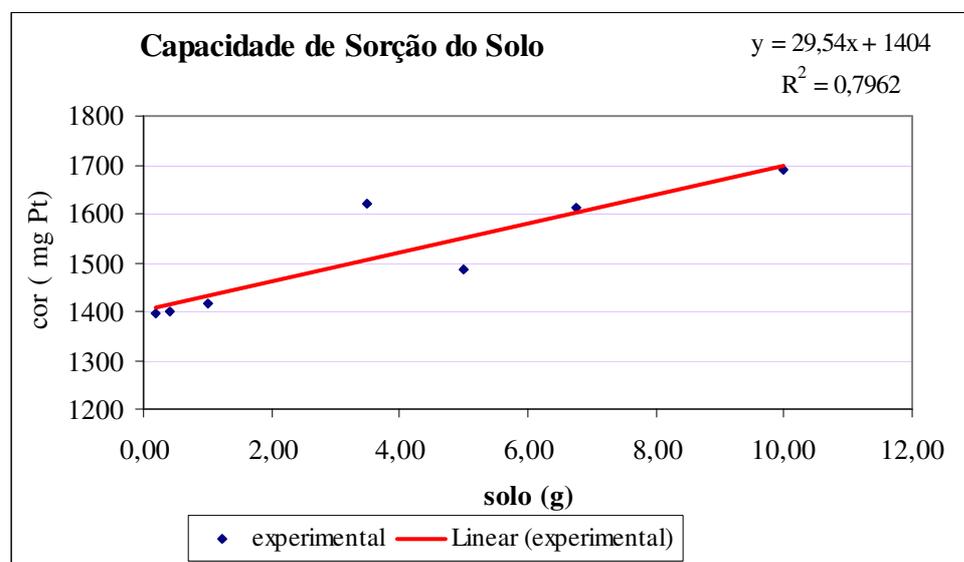


Figura 56 - Capacidade de adsorção do solo de Rio das Ostras no ensaio ECI.

As reduções dos valores de DQO encontram-se na Tabela 15. Nos 7 (sete) ensaios as reduções não foram muito relevantes, em torno de 8% e encontram-se no gráfico da Figura 57.

Tabela 15 - Redução dos Valores de DQO pelo Método ECI

Relação solo: Lixiviado	DQO mg/L	redução de DQO %
g/L	mg/L	%
Chorume bruto	2075	
1	1886	9,11%
2	1876	9,60%
5	1872	9,79%
18	1918	7,55%
25	1910	7,94%
38	1920	7,46%
50	1924	7,30%

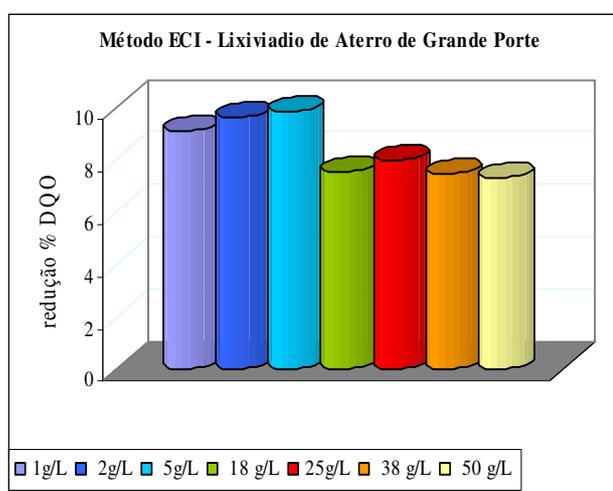


Figura 57 - Redução comparativa da DQO pelo Método ECI.

Os ensaios de sorção pelo Método ECI com o lixiviado do Aterro de Grande Porte, apresentam redução de cor e DQO avaliadas nos gráficos e tabelas anteriores. Uma visão comparativa das duas reduções (cor e de valores de DQO) se verifica no gráfico da Figura 58, na qual observa-se uma tendência de menor redução dos valores de redução de valores de DQO com o aumento da concentração de solo, tendência que se inverte quando se trata de redução a cor.

Os ensaios de sorção realizados Método CSI com o mesmo lixiviado apresentam redução de DQO entre 7 e 35% nas relações solo lixiviado 1:10, enquanto pelo Método ECI a redução de

DQO variou entre 7 e 10% com relações solo:lixiviado bem menores, entre 1:1000 e 1:20, este comportamento indica a necessidade de relação solo: lixiviado mais alta para uma redução de DQO considerável.

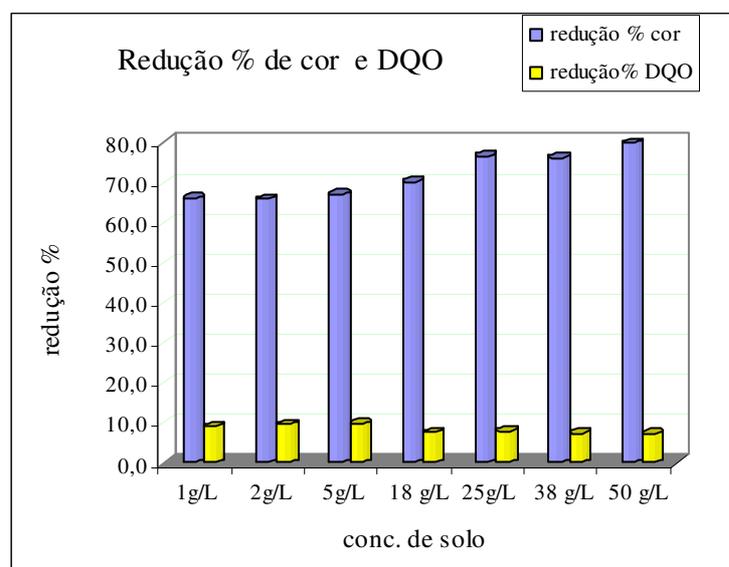


Figura 58 - Comparação de redução de cor e valores de DQO

4.4- Ensaios de difusão

Foram realizados dois ensaios de 3 dias, em célula estanque para estudo da difusão dos íons Cl^- ; NH_4^+ , Na^+ ; K^+ ; Ca^{2+} e NH_4^+ , com amostras compactadas e saturadas do solo do Aterro Sanitário de Rio das Ostras. As condições iniciais dos dois ensaios de difusão encontram-se nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16 - Solo nas condições iniciais – ensaio de difusão

Variáveis	Ensaio 1	Ensaio 2
	3 dias	3 dias
Massa específica aparente do solo seco (g/cm^3)	1,524	1,540
Porosidade	0,402	0,41
Índice de vazios	0,7	0,72

Tabela 17 - Características dos lixiviados de ASRO utilizados

Amostra	Ensaio 1	Ensaio 2
Data da coleta	14/08/07	30/11/07
pH	8,19	7,62
Condutividade (mS/cm)	8,83	193
Cloreto (Cl ⁻) (mg/L)	1.452	1.190
DQO (mg/L)	633	2.994
Na ⁺ (mg/L)	1.032	883
K ⁺ (mg/L)	1.091	776
N-NH ₃ (mg/L)	494	536
Ca ⁺² (mg/L)	67	308
Cor (mg/L) Pt-Co	122	-

A determinação da concentração dos parâmetros estudados nas camadas de solo, após o ensaio de difusão, foi realizada após a lixiviação. Estes valores experimentais e os corrigidos, conforme Leite (2001), cuja equação encontra-se no Capítulo 3, estão apresentados nas Tabelas 18.

O controle da variação da condutividade e do pH nas camadas durante a difusão molecular esta apresentada nas Figuras 59 e 60. No caso da condutividade se verifica um decréscimo acentuado, indicando que vários cátions foram sorvidos e a competição existente entre eles. A condutividade mantém-se constante entre a 5^a e a 6^a camada. O pH não apresentou variação entre a 3^a e a 6^a camada. Quando aumenta a profundidade a condutividade diminui indicando que vários cátions são sorvidos, demonstrando também a competição entre os íons.

Tabela 18 - Resultados das análises dos íons cloreto, amônio potássio, sódio e cálcio no lixiviado de ASRO

Difusão /Lixiviação	Concentração em (mg/L)											
	pH	Condut. (mS/cm)	Cloreto		amônio		potássio		sódio		cálcio	
			Exper.	Corr.	Exper.	Corr.	Exper.	Corr.	Exper.	Corr.	Exper.	Corr.
Lixiviado testemunho	7,6	193	1178	S/corr	414	S/corr	776	S/corr	883	S/corr	308	S/corr
Lixiviado sobrenadante	7,5	190	947	S/corr	367	S/corr	513	S/corr	701	S/corr	226	S/corr
Topo , fatia 1	7,54	258	63	748	16	192	29	347	35	416	6	-
Fatia 2	5,46	158	44	619	7	103	13	178	23	325	5	5
Fatia 3	4,94	145	32	461	3	51	5	69	12	179	5	5
Fatia 4	4,94	97	18	271	1	18	2	25	9	131	4	4
Fatia 5	4,94	81	13	202	1	16	2	23	8	121	5	5
Base fatia 6	4,95	80	11	165	1	11	2	23	8	115	4	4
Background	4,67	32	5	100	0	7	1	19	3	69	2	35

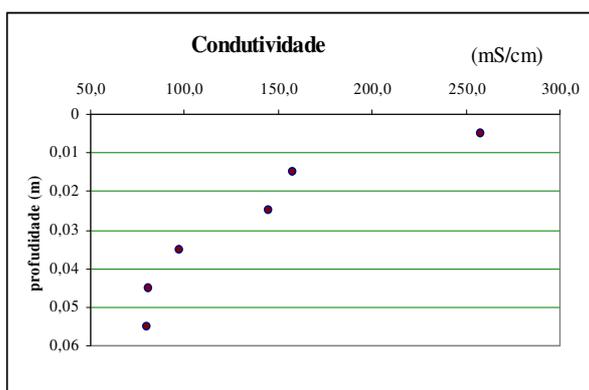


Figura 59 - Variação da condutividade na Difusão.

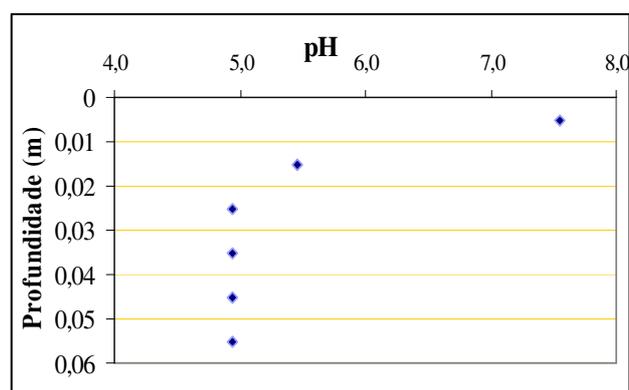


Figura 60 - Variação do pH na Difusão.

4.4.1 Cálculos dos Coeficientes de Difusão Molecular

Os coeficientes de difusão molecular foram determinados através de modelos computacionais do programa POLLUTE, versão 7 e do MPHMT (Multi Phase Heat and Mass Transfer Program) do Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia Metalúrgica Industrial de Volta Redonda, da Universidade Federal Fluminense (EEIMVR/UFF). Neste segundo programa a interface entre a amostra de solo e o reservatório de lixiviado, o sobrenadante, é parte integrante do domínio de cálculo.

Para cada íon foram efetuadas simulações com tempo de 3 dias e diferentes coeficientes de difusão molecular. Os valores de K_d para potássio e amônio utilizados nas simulações foram 1,6 e $0,9 \text{ cm}^3/\text{g}$, respectivamente, (vide Tabela 10) e foi adotada sorção nula para cloreto, sódio e cálcio.

As Figuras 61 até 65 apresentam os gráficos dos coeficientes de difusão resultantes das simulações com o POLLUTE e MPHMT para os casos de cloreto, amônio, potássio. Apresentam-se os dados experimentais e dois ou três perfis, variando os coeficientes de difusão, de modo a verificar qual o melhor ajuste. O coeficiente de difusão do íon sódio foi determinado apenas pelo MPHMT e no caso do íon cálcio não foi possível a determinação em ambos modelos computacionais. Observa-se ainda que nos ensaios de cloreto, sódio e cálcio houve um deslocamento na base indicando uma migração mais acentuada enquanto para potássio e amônio isto não foi observado. Ressalva-se ainda que os íons potássio e amônio apresentaram valores de sorção significativos, enquanto a sorção foi adotada nula.

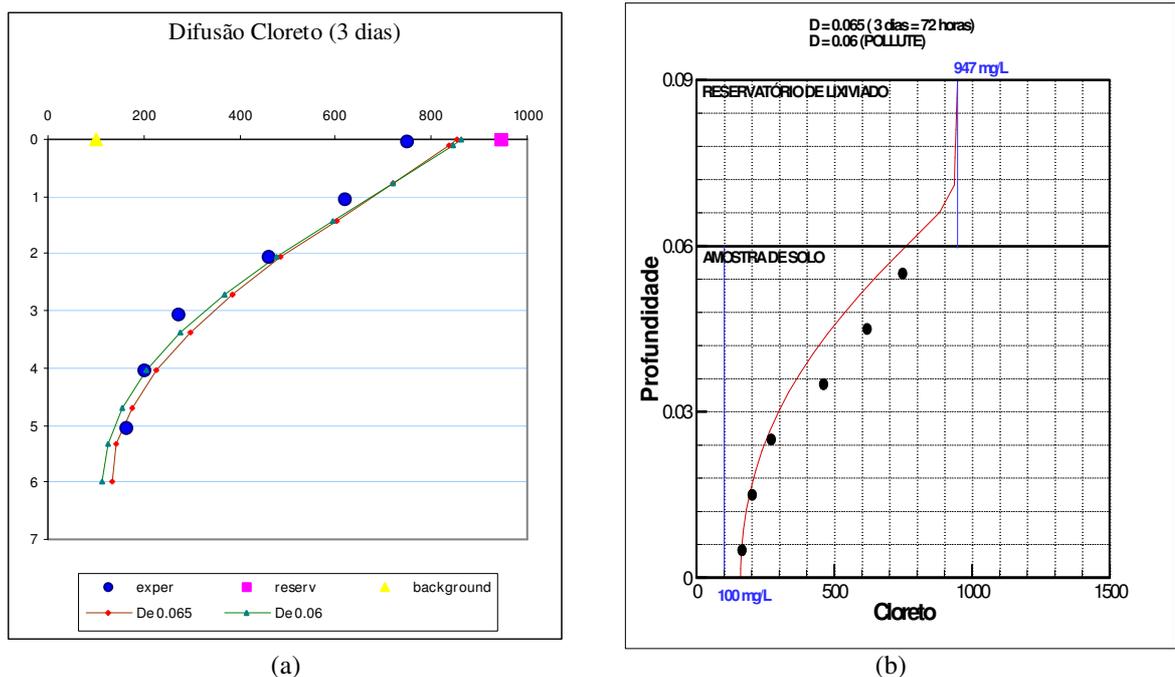
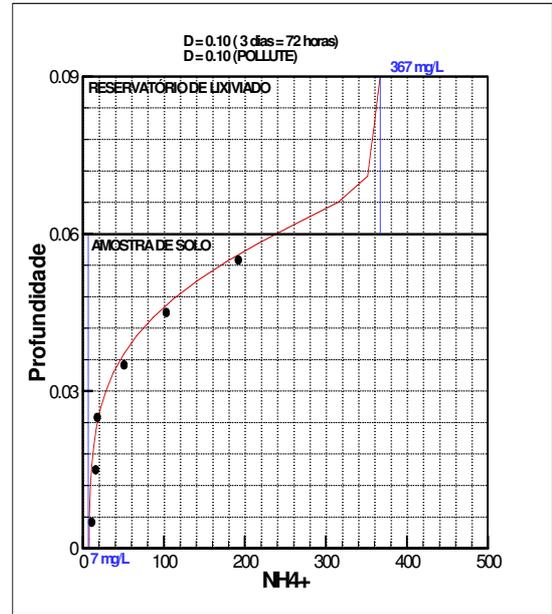
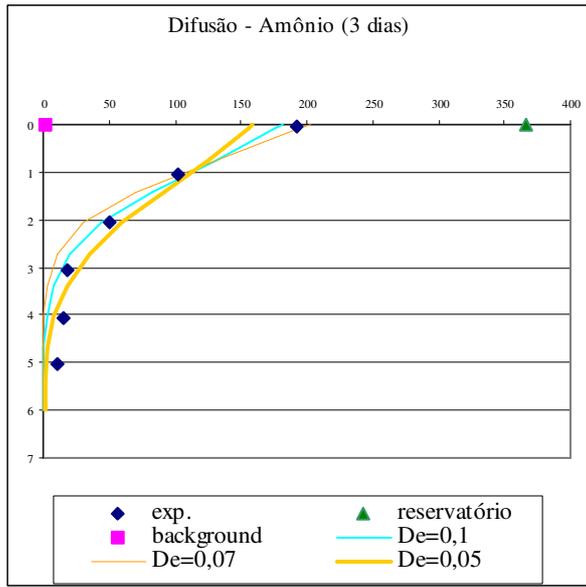


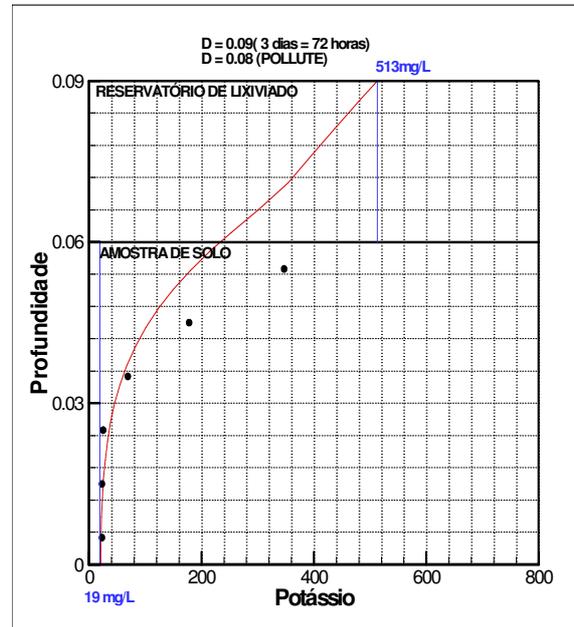
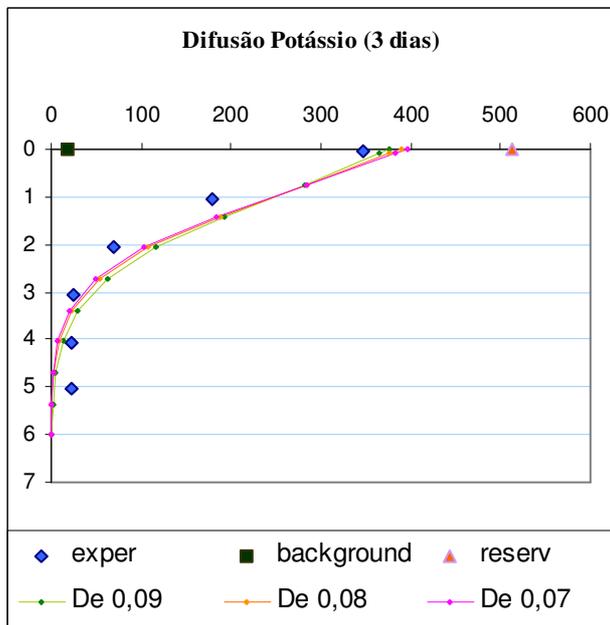
Figura 61 - Simulações da Difusão do íon Cloreto (3dias) (a) Pollute (b) MPHMT



(a)

(b)

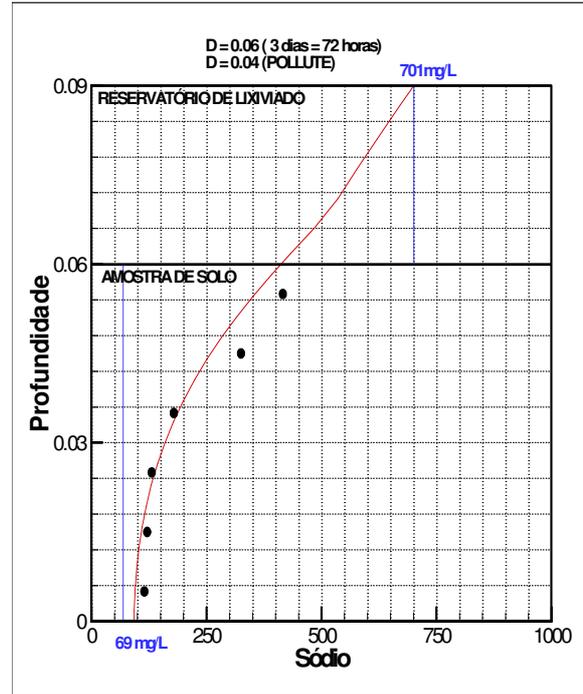
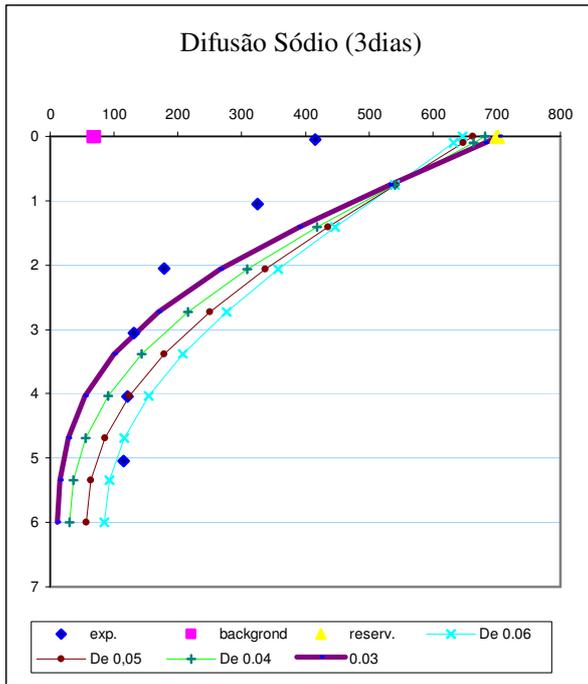
Figura 62 - Simulações da Difusão do íon Amônio (3dias) (a) Pollute (b) MPHMTTP



(a)

(b)

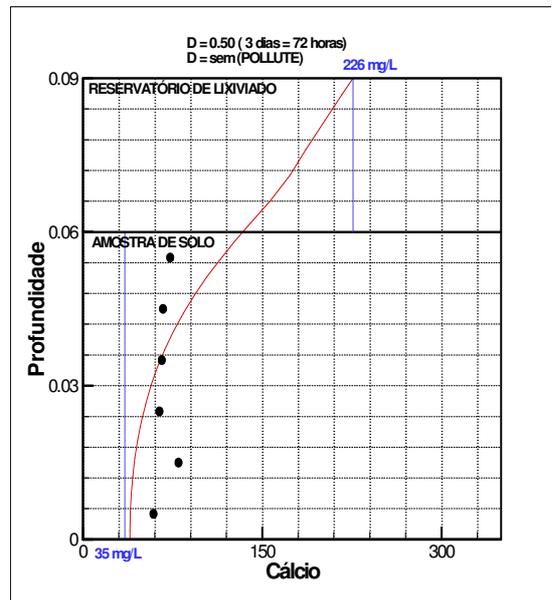
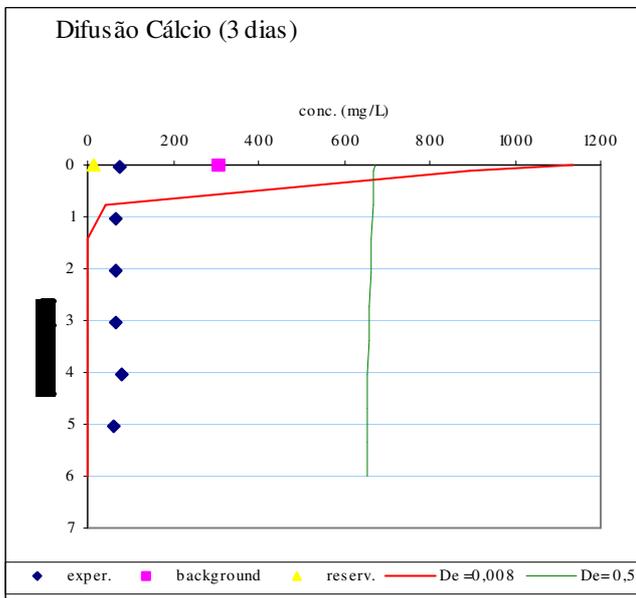
Figura 63 - Simulações da Difusão do íon Potássio (3dias) (a) Pollute (b) MPHMTTP



(a)

(b)

Figura 64 - Simulações da Difusão do íon Sódio (3dias) (a) Pollute (b) MPHMTTP



(a)

(b)

Figura 65 - Simulações da Difusão do íon Cálcio (3dias) (a) Pollute (b) MPHMTTP

Os valores do coeficiente de difusão adotados com os dois modelos estão apresentados na Tabela 19. Os resultados para cloreto, amônio e potássio apresentaram-se muito próximos.

No caso do íon sódio o POLLUTE não apresentou um ajuste satisfatório, enquanto o MPHMTM mostrou um perfil mais próximo do medido. Ao se analisar o valor de D_e para sódio obtido pelo MPHMTM, de $0,06 \text{ m}^2/\text{ano}$ verifica-se que se encontra próximo ao valor encontrado para o cloreto, visto que, geralmente, estes íons migram simultaneamente, enquanto que o adotado pelo POLLUTE foi de $0,04 \text{ m}^2/\text{ano}$. No caso do íon cálcio não foi possível encontrar nenhum valor que se ajustasse em nenhum dos programas devido ao perfil de difusão constante encontrado.

Tabela 19 – Comparação dos Coeficientes de difusão nas simulações nos dois programas

Parâmetro	Coeficiente de difusão (m^2/ano)	
	POLLUTE	MPHMPT
Cloreto	0,06	0,065
Sódio	0,03	0,06
Amônio	0,1	0,1
Cálcio	(1)	0,5
Potássio	0,08	0,09

(1) Os pontos experimentais não se ajustaram adequadamente

Em Pires (2007) cujos resultados estão resumidos na Tabela 20, foram encontrados para os lixiviados do mesmo aterro valores idênticos nas simulações no MPHMTM e valores muito próximos para cloreto, amônio e potássio e a mesma dificuldade com o cálcio foi observada.

Tabela 20 – Coeficientes de difusão das simulações realizadas por Pires, 2007

Parâmetro	Coeficiente de difusão (m^2/ano)
	POLLUTE
Cloreto	0,03
Sódio	0,02
Amônio	0,1
Cálcio	(1)
Potássio	0,1

Fonte: Pires,2007

(1) Os pontos experimentais não se ajustaram adequadamente

4.4.2 – Redução de cor durante a difusão molecular

Na Tabela 21 encontram-se os dados da redução de cor durante a difusão molecular no sobrenadante e em cada camada. O sobrenadante apresentou uma considerável redução de 12%, provavelmente devido à precipitação de alguns compostos orgânicos polares existentes no lixiviado, que pôde ser avaliada visualmente durante a desmontagem da célula de difusão.

A redução apresentada nas outras camadas foi calculada diminuindo-se o valor apresentado no *background* (solo sem lixiviado) do valor encontrado para cada camada. Verifica-se uma redução de cor na faixa de 20 - 40 % nas seis camadas. Na última camada redução de cor apresentou um valor de apenas 7%. Na Figura 66 verifica-se o perfil da redução de cor observada nos ensaios de difusão molecular.

Comparativamente os valores de redução de cor durante a sorção foram mais promissores provavelmente devido ao contato solo:lixiviado mais intenso.

Tabela 21 - Redução de cor em cada fatia de solo ao longo da difusão.

AMOSTRA/Profundidade	cor (mg -Pt)	Diferença entre lix - amostra	redução % cor
lixiviado bruto	122		
Sobrenadante	71	10	12,3
fatia 1cm	59	22	27,2
fatia 2 cm	51	30	37,0
fatia 3 cm	52	29	35,8
fatia 4cm	59	22	27,2
fatia 5cm	48	40	40,7
fatia 6 cm	74	7	22,7
7 = solo+ H ₂ O	41	40	

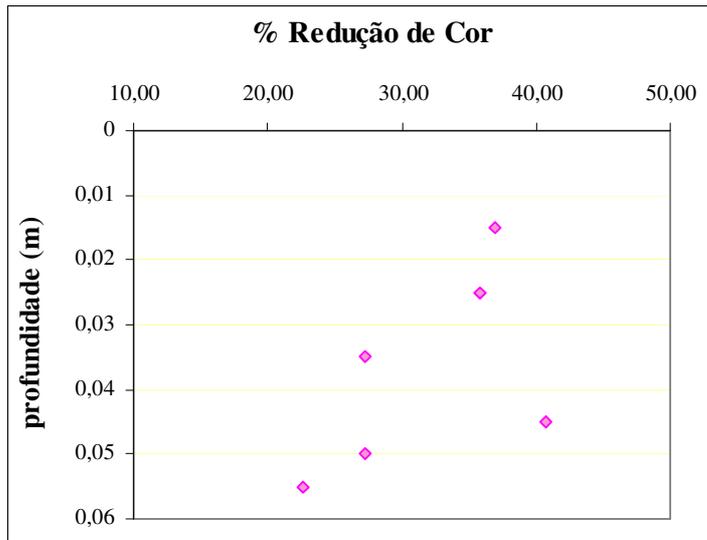


Figura 66 - Redução da cor na difusão (3 dias) com lixiviado e solo de ASRO