



Ciência Rural

ISSN: 0103-8478

cienciarural@mail.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria
Brasil

Cardoso de Freitas, Fábio; Presotto, Rafael Antônio; da Cruz Genúncio, Glaucio; Moura
Brasil do Amaral Sobrinho, Nelson; Zonta, Everaldo
pH, sódio, potássio, cálcio, magnésio e alumínio em solos contaminados com fluido de
perfuração de poços de petróleo após ensaios de lixiviação
Ciência Rural, vol. 45, núm. 8, agosto, 2015, pp. 1418-1423
Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33142184012>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

pH, sódio, potássio, cálcio, magnésio e alumínio em solos contaminados com fluido de perfuração de poços de petróleo após ensaios de lixiviação

pH, sodium, potassium, calcium, magnesium and aluminum in soils contaminated with petroleum drilling fluid after leaching tests

Fábio Cardoso de Freitas^I Rafael Antônio Presotto^{II} Glaucio da Cruz Genúncio^{II}
Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho^{III} Everaldo Zonta^{III}

RESUMO

Na exploração do petróleo, o uso de fluidos de perfuração é essencial para o equilíbrio da pressão entre as formações e o interior do poço, além de impedir o refluxo do reservatório de petróleo ao poço. Os fluidos também são responsáveis pela elevação dos cascalhos de perfuração à superfície. Entretanto, estes podem ser potenciais contaminantes do ambiente, uma vez que chegam à superfície impregnados de fluidos. O trabalho objetivou avaliar o pH e os teores de Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ em um Latossolo e um Planossolo submetidos a doses de fluido de perfuração, após sofrerem dois ensaios de lixiviação. Os resultados mostraram que a adição dos fluidos ao Planossolo e Latossolo nas concentrações de 4%, 8% e 16% (m/m) reduziu o alumínio tóxico a zero e promoveu aumento do pH do solo, Na⁺, K⁺ e Ca²⁺ em comparação ao controle.

Palavras-chave: salinização, cascalho de perfuração, resíduos de E&P.

ABSTRACT

In petroleum exploration, the use of drilling fluids is critical to the balance of pressure between the formations and the interior of the shaft, and preventing the backflow of oil from the reservoir to the oil well. Fluids are also responsible for raising the drill cuttings to the surface. However, these may potentially contaminate the environment once they arrive at the fluid-impregnated surface. This study aimed to check the pH and Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and Al³⁺ in an Oxisol and Planosol subjected to doses of drilling fluid, after suffering two leaching tests. The results showed that the addition of fluids to Planosol and Oxisol at concentrations of 4%, 8% and 16% (w/w) reduced toxic aluminum to zero and promoted an increase of the soil pH, Na⁺, K⁺ and Ca²⁺ compared to control.

Key words: salinization, drill cuttings, E & P waste.

INTRODUÇÃO

A perfuração de poços de petróleo é um método de investigação capaz de confirmar e quantificar de forma direta o potencial da estrutura geológica portadora de petróleo e gás. Isso é feito através das análises de amostras do cascalho coletado (fragmentos das rochas atravessadas), testemunhos e perfis elétricos obtidos. Na superfície, o cascalho e os sedimentos finos são separados do fluido através de vários equipamentos, tais como peneiras, centrífugas e secadores. Uma vez limpo, o fluido retorna ao poço (LINS & LUZ, 2003). A contaminação de aquíferos e solos pelos fluidos de perfuração e pela disposição inadequada do cascalho gerado pela atividade de perfuração representa um dos potenciais impactos ambientais que podem ser causados pela atividade de exploração de petróleo (E&P/UNEP, 1997). AROCENA & RUTHERFORD (2005) concluíram que muitos solos contaminados no Canadá estão associados às atividades passadas de extração de petróleo. Os autores avaliaram a física e química, bem como propriedades minerais de três solos de sítios de descarte de resíduos da atividade petrolífera em relação ao controle (solos adjacentes) e os resultados mostraram que a distribuição de tamanho de partículas, pH, N total, capacidade de troca catiônica, Mg²⁺ e a relação trocável de adsorção de

^IDepartamento de Ciências do Meio Ambiente, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), 25802-100, Três Rios, RJ, Brasil. E-mail: fcfreitas@ufrj.br. Autor para correspondência.

^{II}Curso de Pós-graduação em Agronomia, (CPGA), Ciência do Solo (CS), UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil.

^{III}Departamento de Solos, UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil.

sódio foi semelhante nos solos dos sítios de descarte e também no controle. Entretanto, o carbono total, Ca^{2+} , K^+ , Na^+ e Mg^{2+} foram maiores nos solos de sítios de disposição em relação ao controle, concluindo que ações inerentes às atividades petrolíferas na região poderiam promover a degradação dos solos, tornando-os menos favoráveis para o estabelecimento de culturas agrícolas e florestais.

As legislações inglesa e norte-americana determinam valores fixos para descarte e/ou disposição adequada desses resíduos. Segundo DIAS et al. (2005), os critérios ambientais para o lançamento dos resíduos da atividade petrolífera abordados não são claramente definidos na legislação brasileira, sendo objeto de análise por parte dos órgãos ambientais por ocasião da etapa de licenciamento ambiental do empreendimento de exploração e produção, através da apreciação, dentre outras coisas, do estudo de impacto ambiental. Em geral, grande parte dos cascalhos de perfuração é disposta, embora eles possam ser tratados e, em alguns casos, reutilizados (DRILLING WASTE MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM, 2009; AI-ANSARY & AI-TABBAA, 2007; HARBOTTLE et al., 2007). O trabalho objetivou mensurar os efeitos dos fluidos de perfuração, após ensaios de lixiviação, no pH, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} de um Latossolo Vermelho-Amarelo e um Planossolo Háplico.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios de lixiviação foram conduzidos no Laboratório de Interação Solo e Planta do Departamento de Solos da UFRRJ, com o segundo realizado 30 dias após o primeiro. Foram utilizadas e caracterizadas, de acordo com EMBRAPA (2013), amostras de horizontes superficiais de dois solos de textura contrastantes, coletadas a 20cm de profundidade. Um Planossolo Háplico, coletado no município de Seropédica (RJ), e um Latossolo Vermelho-Amarelo, coletado no município de Pinheiral (RJ). Os atributos físicos do Planossolo e Latossolo foram 272, 132 e 596g kg^{-1} e 920, 10 e 70g kg^{-1} de argila, silte e areia, respectivamente. O Planossolo apresentou pH em água igual 5,9 e valores de (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) 1,85 para Ca; 1,65 de Mg; 0,05 de K e 0,02 de Na. Já o Latossolo, pH em água igual a 5,4, e valores de (em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) 3,2 para Ca; 2,0 de Mg; 0,01 de K e 0,03 de Na.

Foram utilizados, como tratamentos, concentrações de 4, 8 e 16% mm^{-1} de fluido de perfuração catiônico, disponibilizado pelo Centro de Pesquisa da Petrobras (CENPES). Este fluido foi

caracterizado quimicamente, apresentando teores totais de N, P, K, Ca, Mg e Na de 2,56; 1,25; 18,11; 30,48; 4,47; 38,7g kg^{-1} , respectivamente. O fluido apresentou ainda, para a análise de pH (H_2O), um valor de 9,5.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em fatorial 4×2 , com controle (0%) + três doses de fluido de perfuração (4, 8 e 16% mm^{-1}) e duas classes de solos (Planossolo e Latossolo), com quatro (4) repetições.

Para os tratamentos, misturaram-se as concentrações de 4, 8 e 16% mm^{-1} de fluido a 4 kg de terra fina seca ao ar (TFSA), utilizando-se uma betoneira. Após cada mistura para obtenção das concentrações, a betoneira foi lavada com água e detergente líquido e, depois, com água destilada. Posteriormente, a mistura (solo + fluido), foi acondicionada em tubos de PVC de 10cm de diâmetro, com 50cm de comprimento e verticalmente dispostos em estrados metálicos. Utilizou-se uma redução concêntrica na extremidade inferior do tubo para a coleta do lixiviado e a extremidade superior foi vedada com filme plástico de 200 μm visando à redução da evaporação de água. A umidade das unidades experimentais foi mantida a 70% da capacidade de campo durante 7 dias e, após esse tempo, aplicaram-se duas lâminas de 200mm de água destilada, em intervalos de 30 dias, perfazendo um total de 67 dias de condução do experimento. A água percolada após a aplicação das lâminas foi quantificada, sendo em seguida coletada uma alíquota de 200mL, com a finalidade de se avaliar o pH e os teores de Na^+ e K^+ . Após a coleta do extrato lixiviado, determinaram-se os teores totais de Na^+ e K^+ de ambas as amostras de solos utilizadas (TEDESCO et al., 1995). Os teores trocáveis de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e pH foram realizados conforme EMBRAPA (1997).

Os dados foram analisados estatisticamente utilizando-se o programa estatístico SAEG v.8.0 (EUCLIDES, 1983) com 5% de probabilidade de erro. As médias das variáveis analisadas foram comparadas pelo teste de Tukey.

RESULTADOS

Na primeira lixiviação, as concentrações de 4, 8 e 16% de fluido de perfuração adicionadas ao solo, quando comparadas ao controle, proporcionaram acréscimos nos valores de Na^+ nas duas classes de solo testadas. Entretanto, essa variável não diferiu estatisticamente para as concentrações de 8 e 16% no ensaio com Latossolo (Tabela 1).

Tabela 1 - Teor de Na (mgL⁻¹) da água percolada, nas duas lixiviações, em duas amostras de solos contrastantes com doses de fluidos de perfuração de poços de petróleo.

Lixiviação	Dose de fluido								CV
	Controle		4%	8%		16%			
	-----Planossolo-----								
Primeira	7,1	Da ¹	2529	Ca	5197	Ba	9397	Aa	9,3%
Segunda	3,4	Ca	133	Cb	475	Bb	2402	Ab	
	-----Latossolo-----								
Primeira	3,7	Ca	2812	Ba	5847	Aa	5557	Aa	9,4%
Segunda	5,5	Da	1167	Cb	2273	Bb	3531	Ab	

¹Letras maiúsculas distintas na linha e minúsculas nas colunas diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na segunda lixiviação, com Planossolo, a concentração de 4% de fluido não diferiu do controle para o Na⁺ (Tabela 1). Já no Latossolo, as concentrações de 4, 8 e 16% de fluido de perfuração, proporcionaram acréscimos nos valores de Na⁺ em relação ao controle, sendo distintas entre si, à medida que se aumentavam as doses de fluido (Tabela 1).

Na primeira lixiviação, tanto no ensaio com Planossolo quanto no ensaio com Latossolo, o teor de K⁺ aumentou à medida que se aumentavam as concentrações de fluido de perfuração. Todas as concentrações foram maiores que o controle (Tabela 2).

Já na segunda lixiviação, com Planossolo, não ocorreu diferença significativa dos teores de K⁺ entre as doses com concentrações de 4 e 8% de fluido de perfuração. Ainda assim, estas foram maiores que o controle. A dose com maior concentração de fluido (16%) proporcionou o maior aporte de K⁺ que todas as outras propostas (Tabela 2). No Latossolo, as doses com concentrações de fluido de 4, 8 e 16% apresentaram maior aporte de K⁺ em relação ao controle (Tabela 2).

Acréscimos nos valores de Na⁺ e K⁺ no lixiviado, tanto para as diferentes classes de solo quanto para ambos os ensaios de lixiviação, foram observados com a aplicação de doses crescentes de fluido de perfuração, ainda que, para valores de Na⁺,

no Latossolo e na primeira lixiviação, não tenha sido significativo (Tukey a 5% de probabilidade), nos tratamentos com doses iguais a 8 e 16% de fluido. O mesmo ocorreu com o K⁺, na segunda lixiviação, nos tratamentos com doses iguais a 4 e 8% de fluido (Tabelas 1 e 2).

Com exceção do tratamento controle nas duas amostras de solos testadas, houve diferença estatística entre o primeiro e o segundo ensaio de lixiviação, em relação aos demais tratamentos adotados para o Na⁺ (Tabela 1) e para o K⁺ (Tabela 2), ocorrendo diminuição dos valores para essas variáveis.

A massa de Na⁺ carregada pela água percolada nas amostras de Latossolo e de Planossolo aumentou à medida que se aumentavam também as doses de fluido, sendo maior no Planossolo e na primeira lixiviação, o que, por conseguinte, teve menor massa carregada no segundo ensaio (Tabela 3). O Latossolo apresentou menor massa carregada na água percolada no primeiro ensaio, mas superou o Planossolo no segundo ensaio, à medida que se aumentavam as doses de fluido, o que indica maior retenção de Na⁺ no solo, num primeiro momento. A maior parte desse sal foi removida do solo após a primeira lixiviação. No segundo ensaio, o carreamento se manteve, mas, desta vez, em níveis menores.

Tabela 2 - Teor de K (mg.L⁻¹) da água percolada, nas duas lixiviações, em duas amostras de solos contrastantes com doses de fluidos de perfuração de poços de petróleo.

Lixiviação	Dose de fluido								CV
	Controle		4%	8%		16%			
	-----Planossolo-----								
Primeira	6,2	Da ¹	621	Ca	2435	Ba	4009	Aa	16%
Segunda	6,2	Ca	133	Bb	147	Bb	1325	Ab	
	-----Latossolo-----								
Primeira	1,6	Da	363	Ca	1152	Ba	1567	Aa	15%
Segunda	4,3	Da	244	Cb	562	Bb	930	Ab	

¹Letras maiúsculas distintas na linha e minúsculas nas colunas diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3 - Massa de Na carregada pela água percolada, nas duas lixiviações, em duas amostras de solos contrastantes com doses de fluidos de perfuração de poços de petróleo.

Lixiviação	Dose de fluido								CV
	Controle		4%		8%		16%		
	-----Planossolo-----								
Primeira	12	Da ¹	3.186	Ca	7.103	Ba	13.372	Aa	7%
Segunda	5	Ca	148	Cb	638	Bb	2.340	Ab	
	-----Latossolo-----								
Primeira	4	Da	2.480	Ca	5.732	Ba	7.089	Aa	14,5%
Segunda	6	Da	1.471	Cb	3.005	Bb	4.489	Ab	

¹Letras maiúsculas distintas na linha e minúsculas nas colunas diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Em ambos os solos e ensaios, houve aumento do teor de Na⁺ com o aumento da dose de fluido, sendo possível afirmar que o fluido é a fonte deste elemento. No segundo ensaio, os valores seguiram a mesma tendência, mas com valores inferiores, possivelmente pelo fato de a maior parte do Na⁺ adicionado ao solo na forma de fluido ter sido carregado no primeiro ensaio, devido sua elevada solubilidade (Tabela 4).

Após o primeiro ensaio de lixiviação, os valores de Na⁺ encontrados nas doses que continham fluido de perfuração na porcentagem de 4 e 8% foram aproximadamente 100 vezes maiores em relação aos valores iniciais para o Latossolo. Para esses mesmos níveis de contaminação, a carga hidráulica aplicada foi suficiente para manter os teores de Na⁺

no Planossolo igual ao do controle (Tabela 4). Ainda para este solo, somente no maior tratamento (16% de fluido no solo) não foi possível diminuir os teores de Na⁺ no solo, chegando este a 100 vezes o valor do controle (Tabela 4).

Os resultados encontrados para os valores de pH do solo, após os ensaios de lixiviação (Tabela 4), mostram, de forma comparativa, os valores mensurados para os dois tipos de solos após os ensaios de lixiviação. Os valores encontrados no Planossolo foram maiores do que aqueles verificados no Latossolo para todos os tratamentos, alcançando, respectivamente, 8,05 e 8,08 nos tratamentos com doses iguais a 4 e 8% de fluido de perfuração (Tabela 4).

O aumento das doses de fluido até a dose máxima testada (16%) incrementou os valores

Tabela 4 - Teores de Na, K, Ca, Mg, Al e pH dos solos testados, após ensaios de lixiviação.

Solo	Dose de fluido								CV(%)
	Controle		4%		8%		16%		
	-----Sódio-----								
Planossolo	0,00	Ba ¹	0,04	Bb	0,11	Bb	1,54	Ab	11
Latossolo	0,02	Da	1,73	Ca	2,42	Ba	9,21	Aa	
	-----Potássio-----								
Planossolo	0,01	Aa	0,05	Ab	0,09	Ab	0,39	Ab	28
Latossolo	0,05	Da	0,71	Ca	1,26	Ba	2,96	Aa	
	-----Cálcio-----								
Planossolo	0,24	Bb	1,21	Ab	1,37	Ab	1,18	Ab	5
Latossolo	1,85	Da	3,52	Ca	3,94	Ba	5,05	Aa	
	-----Magnésio-----								
Planossolo	0,32	Ab	0,55	Ab	0,44	Ab	0,62	Ab	23
Latossolo	1,65	Ca	3,17	ABa	2,58	ABCa	2,19	BCa	
	-----Alumínio-----								
Planossolo	4,11	Ab	0,00	Ba	0,00	Ba	0,00	Ba	7
Latossolo	4,56	Aa	0,00	Ba	0,00	Ba	0,00	Ba	
	-----pH-----								
Planossolo	5,40	Bb	8,05	Aa	8,08	Aa	8,05	Aa	3
Latossolo	5,95	Ca	7,65	ABb	7,53	ABb	7,20	Bb	

¹Letras maiúsculas distintas na linha e minúsculas nas colunas diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

de Ca^{2+} e K^+ , mesmo após duas cargas hidráulicas, além de proporcionar a elevação do pH do solo e reduzir os teores de Al^{3+} tóxico a zero em ambos os solos testados. Entretanto, ocorrendo também maior incremento de Na^+ (Tabela 4).

Os resultados da porcentagem de sódio trocável (PST) apresentados na figura 1 mostram que, no Planossolo, apenas o tratamento que recebeu a maior dose de contaminante ficou acima dos 15% ou 20%. No Latossolo, os valores mostraram que todos os níveis de contaminação (4%, 8% e 16%) ultrapassaram os valores propostos de 15% e 10% (Figura 1).

DISCUSSÃO

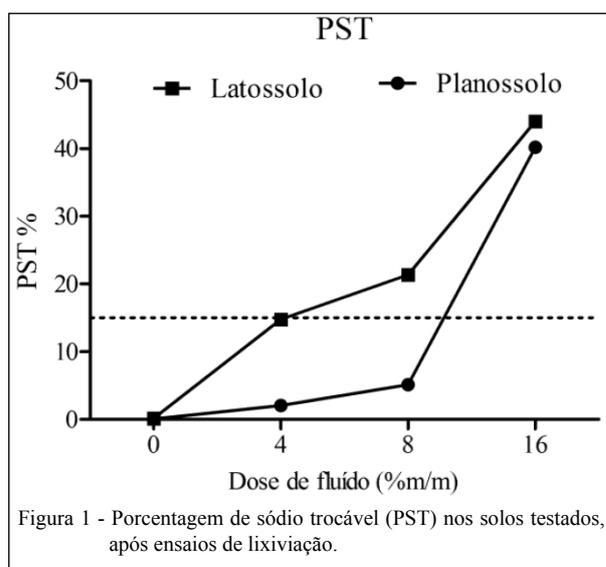
O cascalho que efetivamente é disposto no ambiente, normalmente apresenta concentrações de fluido que varia de 2 a 4% (LINS & LUZ, 2003). Esses valores são significativamente menores que as doses utilizadas neste estudo, que avaliou concentrações extremas. Contudo, AROCENA & RUTHERFORD (2005) concluíram que muitos solos contaminados no Canadá estão associados a sítios de disposição de resíduos de petróleo e que essas atividades podem promover a degradação dos solos, tornando-os menos favoráveis para o estabelecimento de culturas agrícolas e florestais, por aumentar as concentrações de Na^+ , K^+ e Ca^{2+} . O Na^+ , juntamente com o Mg^{2+} , Ca^{2+} e K^+ , constituem os cátions trocáveis do solo. Quanto maior for a porcentagem de sódio entre as bases, menor será a saturação dos sítios de troca do solo ocupados por Ca^{2+} , Mg^+ e K^+ .

Altos valores de PST influenciam negativamente as propriedades físicas dos solos, sobretudo quanto à estrutura, porosidade, condutividade hidráulica e infiltração da água. É sabido que normalmente os solos salinos possuem valores de pH alcalino, que pode ser o fator determinante para limitar o crescimento vegetal, uma vez que, segundo MALAVOLTA (1980), o pH do solo influencia, de forma indireta, o desenvolvimento das plantas cultivadas, evidenciado através das mudanças que provoca na disponibilidade dos elementos essenciais existentes no solo.

Entretanto, ao se avaliar essas variáveis nos solos que sofreram duas cargas hidráulicas, principalmente o de textura mais grosseira utilizado no experimento (Planossolo), verificou-se que a porcentagem de sódio trocável ficou dentro do padrão adotado pelo departamento de agricultura dos Estados Unidos, já que, segundo RICHARDS (1954), valor igual ou superior a 15% afetam as propriedades físicas, especialmente a condutividade hidráulica, como pode ser visto na figura 1, onde somente a maior dose de fluido ficou acima dos 15% (Figura 1).

CONCLUSÃO

Este estudo demonstra que a adição dos fluidos de perfuração ao Planossolo e Latossolo nas concentrações de 4%, 8% e 16% (m/m), ainda que bem acima do normalmente disposto no ambiente, reduziu o Al^{3+} tóxico a zero e promoveu aumento



de Na⁺, K⁺, Ca²⁺ e do pH dos solos testados, em comparação ao controle. Entretanto, dependendo da dosagem aplicada, a adição desses fluidos pode tornar os solos salinos. Por outro lado, no Planossolo Háplico, a única dose que extrapolou o parâmetro adotado para classificar solos salinos foi a de 16% de fluido. Dessa forma, é possível inferir que os fluidos de perfuração, dependendo do tratamento empregado - como evidenciado neste trabalho, por exemplo - e da taxa de aplicação aos solos, poderiam ter melhor aplicabilidade, inclusive em processos de tratamento de resíduos *in situ*, em que um resíduo pode ser empregado para inertizar ou estabilizar o efeito de outro bem mais danoso ao ambiente.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsas aos autores. À Fundação de Amparo à Pesquisa da UFRRJ (FAPUR) e à PETROBRAS, pelo auxílio financeiro e logístico. Aos alunos bolsistas e voluntários, pelo auxílio na coleta de dados.

REFERÊNCIAS

- AL-ANSARY, M.S.; AL-TABBAA, A. Stabilisation/solidification of synthetic petroleum drill cuttings. **Journal of Hazardous Materials**, v.141, p.410-421, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389406005772?np=y>>. Acesso em: 20 nov. 2012. doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.05.079.
- AROCENA, J.M.; RUTHERFORD, P.M. Properties of hydrocarbon- and salt-contaminated flare pit soils in northeastern British Columbia (Canada). **Chemosphere**, v.60, p.567-575, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653505001189>>. Acesso em: 20 nov. 2012. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.12.077.
- DIAS, G.J. et al. Modelagem tridimensional do lançamento de cascalhos de perfuração de poços de petróleo em águas profundas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005, Salvador, Ba. **Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**. Rio de Janeiro, RJ: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, 2005.
- DRILLING WASTE MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM, 2009. Disponível em: <<http://web.ead.anl.gov/dwm/regs/federal/epa/index.cfm>>. Acesso em: 20 ago. 2009.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2013. 353p.
- E&P FORUM/UNEP. **Environmental management in oil and gás exploration & production**. London, 1997. 68p.
- EUCLIDES, R.F. **Manual de utilização do programa SAEG** (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1983. 59p.
- HARBOTTLE, M.J. et al. Comparison of the technical sustainability of in situ stabilisation/solidification with disposal to landfill. **Journal of Hazardous Materials**, v.141, p.430-440, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389406005826>>. Acesso em: 20 out. 2011. doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.05.084.
- LINS, F.A.F.; LUZ, A.B. **Fluidos de perfuração**. Rio de Janeiro: CETEM, 2003. 26p. (Comunicação técnica).
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160p. (USDA Agricultural Handbook, 60).
- TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico n. 5).