

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

TESE

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE CASCALHOS DE
PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO E SEUS
EFEITOS EM PLANTAS E NAS BASES TROCÁVEIS
DO SOLO**

Fábio Cardoso de Freitas

2013



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE CASCALHOS DE PERFURAÇÃO
DE POÇOS DE PETRÓLEO E SEUS EFEITOS EM PLANTAS E NAS
BASES TROCÁVEIS DO SOLO**

FÁBIO CARDOSO DE FREITAS

Sob a Orientação do Professor
Everaldo Zonta

e Co-orientação do Professor
Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2013

631.41
F866c
T

Freitas, Fábio Cardoso de, 1975-
Caracterização química de cascalhos de perfuração de poços de petróleo e seus efeitos em plantas e nas bases trocáveis do solo / Fábio Cardoso de Freitas. – 2013.
xviii, 137 f.: il.

Orientador: Everaldo Zonta.
Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia, 2013.
Bibliografia: f. 132-137.

1. Solos – Análise – Teses. 2. Lamas de perfuração – Teses. 3. Plantas – Efeito dos resíduos de petróleo - Teses. 4. Poços de petróleo – Perfuração - Teses. 5. Metais pesados – Teses. 6. Biorremediação – Teses. I. Zonta, Everaldo, 1970- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

FÁBIO CARDOSO DE FREITAS

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

TESE APROVADA EM 22.02.2013

Everaldo Zonta. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Eliane Maria Ribeiro da Silva. Dra. EMBRAPA Agrobiologia

Irene da Silva Coelho. Dra. UFRRJ

Paulo Negrais Carneiro Seabra. Dr. CENPES-PETROBRAS

Adriano Portz. Dr. UFF

Não sou nada.
Nunca serei nada.
Não posso querer ser nada.
À parte isso, tenho em mim todos os sonhos do mundo.
(Fernando Pessoa)

DEDICATÓRIA

Dedico ao meu único irmão
Filipe Cardoso de Freitas.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus.

Ao meu orientador pelo apoio incondicional e confiança.

A CAPES pela bolsa de estudos.

A Petrobras pela disponibilidade do material, logística e apoio financeiro.

Ao Curso de Pós Graduação em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo (CPGA-CS).

A Fundação de Apoio à Pesquisa Científica da UFRRJ (FAPUR).

A UFRRJ

A todas, absolutamente todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado.

BIOGRAFIA

Fábio Cardoso de Freitas é natural da cidade do Rio de Janeiro - uma de suas paixões - tendo se graduado em Agronomia em maio de 2005 na UFRRJ (eterna ENA). Enquanto aluno, ainda nas salas de aula sempre acreditou que o Engenheiro Agrônomo deveria estar não só no campo, mas também, de forma prioritária nas grandes cidades contribuindo para a manutenção e preservação do ambiente urbano, criando e conservando a paisagem. Quando estagiou na Fundação Parques e Jardins da Prefeitura de sua cidade maravilhosa (poda e remoção de árvores), percebeu que tinha razão em suas opiniões. Durante dois anos foi também estagiário na área de meio ambiente da Fábrica da Petroflex em Duque de Caxias, onde desenvolveu projetos de recuperação e educação ambiental no entorno da Baía de Guanabara. Foi na condição de Agrônomo residente do Departamento de Solos da UFRRJ durante 18 meses, que consolidou de vez sua vocação para o trabalho com o ambiente, desenvolvendo trabalho e pesquisa em áreas afetadas pela exploração petrolífera nos Estados do Rio de Janeiro, Paraná, Espírito Santo, Bahia e Alagoas. Em fevereiro de 2009 concluiu seu Mestrado em Agronomia, pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, tendo ingressado no mês seguinte no curso de Doutorado do CPGA-CS da mesma instituição. Em maio de 2012, após aprovação em concurso público de provas e títulos, tornou-se professor substituto do Departamento de Fitotecnia da sua querida Universidade Rural, lecionando as disciplinas de Paisagismo, plantas ornamentais e floricultura para o curso de graduação em Agronomia e Paisagismo e ambiente para o curso de Arquitetura.

RESUMO GERAL

FREITAS, Fábio Cardoso de. **Caracterização química de cascalhos de perfuração de poços de petróleo e seus efeitos em plantas e nas bases trocáveis do solo.** 2013. 135f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

Os cascalhos de perfuração são, em sua essência, rochas trituradas oriundas das formações geológicas onde se faz prospecção de poços de petróleo. De granulometria fina, o cascalho chega à superfície, impregnado de fluido de perfuração. Dependendo do equipamento de recuperação de fluido, utilizado na sonda de perfuração, o teor deste, no cascalho gerado fica em torno de 2 a 3%. As questões que envolvem seu tratamento e possível uso na agricultura estão associadas ao levantamento dos tipos de solos da região, bem como seus teores naturais de metais para que se possa inferir se estes elementos estão mais associados à rocha do que ao fluido. Outra questão fundamental é o real efeito das n-parafinas (que compõe o fluido base não aquosa) e, principalmente o Na (usado também na composição dos fluidos), no crescimento de plantas e nas bases trocáveis do solo. Para avaliar todas essas questões foi preciso identificar, separar e coletar esse material no campo, separando-o por fase de perfuração, fluido utilizado, material geológico atravessado, e, principalmente equipamento de recuperação do fluido. Então dois poços de petróleo, em terra, foram acompanhados, e, um inédito método de coleta, foi proposto para que se assemelhasse ao máximo com uma coleta de solo e, a partir daí, caracterizações químicas foram feitas para verificar, à luz da legislação pertinente e em vigor no país, seus reais constituintes e possíveis contaminantes. Os resultados mostraram que o cascalho coletado, nos dois poços, deve ser classificado como Resíduo Classe II A (Não Perigoso e Não Inerte), conforme a ABNT/NBR-10004:2004 e que, apesar de se enquadrarem como Classe II A, existe uma clara diferenciação desses resíduos, quando ocorre segregação entre os distintos aparelhos de recuperação do fluido. Os resultados mostraram também que havia na constituição dos materiais, elementos que poderiam ser essenciais ao crescimento vegetal, tais como Ca e Mg. Assim, para verificar a velocidade de mineralização dos constituintes orgânicos do cascalho, um ensaio foi proposto, em conjunto com um resíduo orgânico e a evolução de CO₂, mensurada durante 31 dias. Os resultados mostraram que a mineralização ocorreu em pouco mais de 30 dias e foi diretamente proporcional a maior dose do resíduo orgânico aplicado. Depois dessa fase, ensaios preliminares com espécies oleaginosas foram propostos e os resultados indicaram que, para o cultivo de oleaginosas em vasos, as doses adotadas estavam no limite do tolerável para ambas as espécies avaliadas e que aquelas crescidas nos substratos que continham a menor dose (16 t.ha⁻¹), foram as mais responsivas no ganho de massa seca e nos teores de nutrientes. Diante da necessidade de avaliar o acúmulo de sais de sódio em plantas e os efeitos nas bases trocáveis do solo, ensaios com girassóis e cevada foram feitos também em casa de vegetação. Ficou clara, nesse estudo, a contribuição do cascalho, na soma de bases dos substratos avaliados. Por último, para avaliar a relação entre a degradação das cadeias de hidrocarbonetos e a presença de sódio disponível, um rápido ensaio foi idealizado. Os resultados deste ensaio mostraram que a degradação dos hidrocarbonetos de petróleo ocorreu de forma mais rápida quando havia combinação dos resíduos (cascalho e resíduo orgânico), logo foi possível inferir que ocorreram incrementos nos teores de sódio disponível, no meio, ao longo da incubação.

Palavras-chave: Resíduos alcalinos. Biorremediação. Fitorremediação.

GENERAL ABSTRACT

FREITAS, Fábio Cardoso de. **Chemical characterization of drill cuttings from oil wells and their effects on plants and in the soil exchangeable bases.** 2013. 135p. Thesis (Doctor in Agronomy, Soil Science) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

The drill cuttings are, in essence, crushed rocks derived from geological formations where it is done prospection of oil wells. With Fine granulometry, the gravel comes to the surface impregnated of drilling fluid. Depending on the fluid recovery equipment used in the drilling rig its content in the gravel generated is placed around 2 to 3%. The issues involved in this material treatment and possible usage in agriculture are associated with the surveying of the soils in the region, as well as the natural contents of metals, in order to infer if these elements are more associated with the rock than the fluid. Another fundamental issue is the real effect of n-paraffins (which compose the fluid, non-aqueous base), and mainly the Na (also used in the fluid composition) on plant growth and in the soil exchangeable bases. To evaluate all these issues it was necessary to identify, separate and collect this material in the field, separating according to drilling phase, used fluid, geological material traversed, and mainly the fluid recovery equipment. Thus, two on land oil wells were selected, and an original sampling protocol was proposed in order to most resemble a soil sampling and, thereafter, chemical characterizations were performed to investigate under the applicable legislation in the country, their real constituents and possible contaminants. The results showed that the gravel collected in the two wells should be classified as a Class II A residue (Non-Hazardous and non-inert) according to ABNT/NBR-10004: 2004. Also, although they did not fit as Class II A, there is a clear difference of these residues when material from different fluid recovery apparatus was separated. The results also showed elements that could be essential to plant growth, such as Ca and Mg, in the materials constitution. Thus, to check the speed of mineralization of the organic constituents of the gravel an assay was proposed, together with measurement of organic residue and evolution of CO₂ during 31 days. The results showed that the mineralization occurred in just over 30 days and it was directly proportional to the highest organic residue dosage applied. After this phase, preliminary tests with oleaginous species were accomplished and the results indicated that, for the cultivation of oilseeds in vases, the adopted dosages were within the tolerable limit for both species, and those which grew on substrates containing the lowest dosage (16 Mg ha⁻¹) were the most responding in terms of the dry mass gain and nutrient content. Due to the need of evaluating the sodium accumulation in plants and the effects in the soil exchangeable bases, tests with sunflowers and barley were also made in a greenhouse. It became clear in this study, the gravel contribution in the sum of bases of tested substrates. Finally, to evaluate the relationship between the hydrocarbon degradation chains and the presence of available sodium, a rapid assay was set. Its results showed that the petroleum hydrocarbons degradation has occurred more rapidly when residues (gravel and organic residue) were combined; thus it was possible to infer that there was an increase in the available sodium content, in the medium, along the incubation.

Key words: Alkaline residues. Bioremediation. Phytoremediation.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Fases da perfuração (A), à esquerda. À direita (B), um esquema da recuperação de fluido e secagem do cascalho de perfuração..... 10
- Figura 2.** Sistema de recuperação do fluido de perfuração, utilizado pela Sonda BCH 05, no poço 7-MGP 98-D BA, no campo de Miranga, na Bacia do Recôncavo, Bahia. À direita, detalhe do cascalho de perfuração oriundo do Secador “Vert G” e das Centrífugas I e II. Fotos: Freitas, 2010..... 11
- Figura 3.** Sistema de recuperação do fluido de perfuração, utilizado pela sonda SC-82, no poço 7-SMC 50-D AL, em São Miguel dos Campos, Alagoas. À esquerda, o Secador Vertical Vortex, no centro, o *Mud Cleaner* e à direita a Centrífuga de dupla função. Fotos: Freitas, 2010..... 11
- Figura 4.** Quadro de previsão geológica para o poço de prospecção 7-MGP-98D-BA no campo de Miranga, na Bacia do Recôncavo, LAT -12: 20:28.0185 S e LONG -38:11:38.4890 W, município de Pojuca, estado da Bahia. Adaptado de Sandóval, 2010. 14
- Figura 5.** Quadro de previsão geológica para o poço de prospecção 7-SMC-50D-AL, no município de São Miguel dos Campos, LAT -9:51:30:951 S e LONG -36:8:5848 W, estado das Alagoas. Adaptado de Matumoto, 2010..... 15
- Figura 6.** Cronograma de informações gerais das coletas de amostras de cascalho do poço 7-MGP-98D-BA e formação das amostras compostas, por cada Fase de perfuração e equipamentos de recuperação de fluidos, para ensaios de caracterização de resíduos sólidos, segundo a NBR 10004:2004. 16
- Figura 7.** Cronograma de informações gerais das coletas de amostras de cascalho do poço 7-SMC-50D-AL e formação das amostras compostas, por cada Fase de perfuração e equipamentos secador e *mud cleaner*, de recuperação de fluidos, para ensaios de caracterização de resíduos sólidos, segundo a NBR 10004:2004..... 17
- Figura 8.** Cronograma de informações gerais das coletas de amostras de cascalho do poço 7-SMC-50D-AL e formação das amostras compostas, por cada Fase de perfuração e equipamentos centrífuga 1 e centrífuga 2, de recuperação de fluidos, para ensaios de caracterização de resíduos sólidos, segundo a NBR 10004:2004..... 18
- Figura 9.** Aspecto dos fluidos utilizados na perfuração de poços de petróleo, à esquerda, (A), o fluido base orgânica e à direita (B), o fluido base água 22
- Figura 10.** Relação da composição de n-alcanos da primeira composta do secador e da centrífuga do poço 7MGP-98D-BA 30
- Figura 11.** Relação da composição de n-alcanos da segunda composta do secador e da centrífuga do poço 7MGP-98D-BA. 30
- Figura 12.** Relação da composição de n-alcanos da terceira composta do secador e da centrífuga do poço 7MGP-98D-BA. 31
- Figura 13.** Relação da composição de n-alcanos da quarta composta do secador e da centrífuga do poço 7MGP-98D-BA. 31
- Figura 14.** Relação da composição de n-alcanos da quinta composta do secador e da centrífuga do poço 7MGP-98D-BA. 32
- Figura 15.** Relação da composição de n-alcanos da sexta composta do secador e da centrífuga do poço 7MGP-98D-BA. 32
- Figura 16.** Relação da composição de n-alcanos da sétima composta do secador e da centrífuga do poço 7MGP-98D-BA. 33

- Figura 17.** Relação das amostras compostas do secador e *mud cleaner*, do poço 7SMC-50D-AL, em função dos resultados de HTP..... 44
- Figura 18.** Fases da quantificação (em UFC.g⁻¹ solo) dos micro-organismos, acima (amostras em mesa agitadora para obtenção das diluições) e, abaixo, crescimento das colônias. 56
- Figura 19.** Atividade microbiana, medida pela evolução de CO₂, em dois solos de textura contrastantes, incubados com diferentes doses de torta de mamona e cascalho de perfuração, durante 31 dias. Acima (A) Planossolo e abaixo (B), Latossolo. As barras verticais indicam o erro padrão da média. T: torta de mamona; CP: cascalho de perfuração. Doses em t ha⁻¹..... 58
- Figura 20.** Valores de pH, Na e K trocáveis em amostras de um Argissolo (A) e de um Planossolo (B), incubados com diferentes doses de torta de mamona e cascalho de perfuração, obtidos após término do ensaio de respirometria. As barras verticais indicam o erro padrão da média. T: torta de mamona; CP: cascalho de perfuração. Doses em t ha⁻¹. 59
- Figura 21.** Contagem de bactérias (Log de UFC.g⁻¹ solo) após ensaios de respirometria, em substratos que continham horizontes superficiais de um Planossolo (A) e de um Argissolo (B). Doses (em t.ha⁻¹): Controle; 5:0 (5 de torta e zero de cascalho); 5:64 (5 de torta e 64 de cascalho); 20:32 (20 de torta e 32 de cascalho); 40:32 (40 de torta e 32 de cascalho). As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições..... 60
- Figura 22.** Contagem de actinomicetos (Log de UFC.g⁻¹ solo) após ensaios de respirometria, nos substratos que continham horizontes superficiais de um Planossolo (A) e de um Argissolo (B). Doses (em t.ha⁻¹): Controle; 5:0 (5 de torta e zero de cascalho); 5:64 (5 de torta e 64 de cascalho); 20:32 (20 de torta e 32 de cascalho); 40:32 (40 de torta e 32 de cascalho). As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições..... 61
- Figura 23.** Contagem de fungos (Log de UFC.g⁻¹ solo) após ensaios de respirometria, nos substratos que continham horizontes superficiais de um Planossolo (A) e de um Argissolo (B). Doses (em t.ha⁻¹): Controle; 5:0 (5 de torta e zero de cascalho); 5:64 (5 de torta e 64 de cascalho); 20:32 (20 de torta e 32 de cascalho); 40:32 (40 de torta e 32 de cascalho). As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições..... 62
- Figura 24.** Teores de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (mg de HTP por 100g de solo) antes e depois dos ensaios de respirometria, nos substratos que continham horizontes superficiais de um Planossolo (A) e de um Argissolo (B). Doses equivalentes (em t.ha⁻¹): 5:64 (5 de torta e 64 de cascalho); 20:32 (20 de torta e 32 de cascalho); 40:32 (40 de torta e 32 de cascalho). As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições..... 63
- Figura 25.** Altura de plantas de girassol (A) e mamona (B) crescidas em vasos com amostras de horizonte superficial de um Argissolo contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona..... 73
- Figura 26.** Altura de plantas de girassol (A) e mamona (B) crescidas em amostras de horizonte superficial de um Planossolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona..... 74
- Figura 27.** Plantas de girassol (1) e mamona (2) crescidas em substrato com amostra superficial de um Argissolo (A) e um Planossolo (B), aos 70 dias de cultivo em

- vasos fechados, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona.....74
- Figura 28.** Massa seca (em gramas) da parte aérea (A) e de raízes (B) de plantas de girassol, crescidas em amostras de horizonte superficial de um Argissolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona. As barras verticais indicam o erro padrão da média.75
- Figura 29.** Massa seca (em gramas) da parte aérea (A) e de raízes (B) de plantas de mamona, crescidas em amostras de horizonte superficial de um Argissolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona. As barras verticais indicam o erro padrão da média.75
- Figura 30.** Massa seca (em gramas) da parte aérea (A) e de raízes (B) de plantas de girassol, crescidas em amostras de horizonte superficial de um Planossolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona. As barras verticais indicam o erro padrão da média.76
- Figura 31.** Massa seca (em gramas) da parte aérea (A) e de raízes (B) de plantas de mamona, crescidas em amostras de horizonte superficial de um Planossolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona. As barras verticais indicam o erro padrão da média.76
- Figura 32.** Teores de N, P e K na parte aérea (PA) (A) e raiz (RA) (B) de plantas de gissorol crescidas em amostras de horizonte superficial de um Argissolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona. As barras verticais indicam o erro padrão da média.77
- Figura 33.** Teores de N, P e K na parte aérea (A) e raiz (B) de plantas de mamona crescidas em amostras de horizonte superficial de um Argissolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona. As barras verticais indicam o erro padrão da média.....78
- Figura 34.** Teores de N, P e K na parte aérea (A) e raiz (B) de plantas de girassol crescidas em amostras de horizonte superficial de um Planossolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona. As barras verticais indicam o erro padrão da média.....79
- Figura 35.** Teores de N, P e K na parte aérea (A) e raiz (B) de plantas de mamona crescidas em amostras de horizonte superficial de um Planossolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona. As barras verticais indicam o erro padrão da média.....80
- Figura 36.** Contagem de fungos (Log de UFC.g⁻¹ de solo) após ensaio em casa de vegetação com plantas de girassol (A) e mamona (B) em substratos de textura contrastante. As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições.84
- Figura 37.** Contagem de bactérias (Log de UFC.g⁻¹ de solo) após ensaio em casa de vegetação com plantas de girassol (A) e mamona (B) em substratos de textura contrastante. As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições.85

- Figura 38.** Contagem de actinomicetos (Log de UFC.g⁻¹ solo) após ensaio em casa de vegetação com plantas de girassol (A) e mamona (B) em substratos de textura contrastante. As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições. 85
- Figura 39.** Total de hidrocarbonetos de petróleo (em mg kg⁻¹) antes e depois de ensaios com plantas de girassol (A) e mamona (B) em Argissolo. As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições. 86
- Figura 40.** Total de hidrocarbonetos de petróleo (em mg kg⁻¹) antes e depois de ensaios com plantas de girassol (A) e mamona (B) em Planossolo. As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições. 87
- Figura 41.** Plantas de cevada (acima), e girassol (abaixo) aos 30 dias após germinação de sementes em substrato contendo diferentes doses de cascalho de perfuração incubadas com amostras de horizonte superficial de um solo de textura arenosa..... 96
- Figura 42.** Girassóis no dia da coleta do experimento, 70 dias após o plantio, crescidos em substratos com doses restritivas (RES) e promissoras (PRO) dos cascalhos coletados em Alagoas (A) e na Bahia (B), comparadas com o controle. 98
- Figura 43.** Massa seca da parte aérea de plantas de girassol crescidas sob doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B). As barras indicam o erro padrão da média..... 99
- Figura 44.** Teores de Na e K (em g.kg⁻¹) na parte aérea de plantas de girassol, crescidas em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A e B) e Bahia (C e D). As barras indicam o erro padrão da média. 100
- Figura 45.** Altura de plantas de girassol (em cm) crescidas em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B). As barras indicam o erro padrão da média. 101
- Figura 46.** Massa seca de raiz (em gramas) de plantas de girassol crescidas em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B). As barras indicam o erro padrão da média. 101
- Figura 47.** Teores de Na e K (em mg.kg⁻¹) nas raízes de plantas de girassol, crescidas em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A e B) e Bahia (C e D). As barras indicam o erro padrão da média. 102
- Figura 48.** Condutividade elétrica (mS.cm) dos substratos onde cresceram plantas de girassol em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B)..... 103
- Figura 49.** Total de hidrocarbonetos de petróleo (mg.kg⁻¹), antes e depois do crescimento de girassóis em substratos com doses de cascalhos de perfuração de poços coletados nos estados de Alagoas (A) e Bahia (B), com doses de 8 e 32 t.ha⁻¹, identificadas em promissoras e amostras restritivas. As barras indicam o erro padrão da média..... 106
- Figura 50.** Plantas de cevada no dia da coleta do experimento, 70 dias após o plantio, crescidos em substratos com amostras restritivas (RES) e promissoras (PRO) dos cascalhos coletados em Alagoas (A) e na Bahia (B), comparadas com o controle.... 107

- Figura 51.** Massa seca (g) da parte aérea de plantas de cevada em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B). As barras indicam o erro padrão da média. 107
- Figura 52.** Teores de Na e K (g.kg^{-1}) na parte aérea de plantas de cevada, crescidas em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A e B) e Bahia (C e D). As barras indicam o erro padrão da média. 108
- Figura 53.** Altura de plantas de cevada (cm) crescidas em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B). As barras indicam o erro padrão da média. 109
- Figura 54.** Massa seca de raízes(g) de plantas de cevada crescidas em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B). As barras indicam o erro padrão da média..... 109
- Figura 55.** Teores de Na e K (g.kg^{-1}) em raízes de plantas de cevada crescidas em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A e B) e Bahia (C e D). As barras indicam o erro padrão da média. 110
- Figura 56.** Condutividade elétrica (mS.cm) dos substratos onde cresceram plantas de cevada em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B)..... 112
- Figura 57.** Teores de hidrocarbonetos de petróleo (mg.kg^{-1}), antes e depois do crescimento de plantas de cevada em substratos com doses de cascalhos de perfuração de poços coletados nos estados de Alagoas (A) e Bahia(B), com doses calculadas de 8 e 32 t.ha^{-1} , identificadas em promissoras e amostras restritivas. As barras indicam o erro padrão da média. 114
- Figura 58.** Valores de pH medidos ao longo de 8 coletas semanais em experimento contendo doses de cascalho em Planossolo (A) e doses combinadas de cascalho com torta de mamona (B). As barras indicam o erro padrão da média. 123
- Figura 59.** Condutividade Elétrica (mS.cm) medida em intervalos semanais coletadas em experimento contendo doses de cascalho em Planossolo (A) e cascalho combinado com torta de de mamona (B). As barras indicam o erro padrão da média. 124
- Figura 60.** Teores de sódio trocável (Cmol.dm^{-3}), medidos ao longo de 8 coletas semanais em experimento contendo doses de cascalho em Planossolo (A) e doses combinadas de cascalho com torta de mamona (B). As barras indicam o erro padrão da média..... 125
- Figura 61.** Teores de sódio (mg.L^{-1}) totais, medidos ao longo de 8 coletas semanais em experimento contendo doses de cascalho em Planossolo (A) e doses combinadas de cascalho com torta de mamona (B). As barras indicam o erro padrão da média.. 126
- Figura 62.** Teores totais (mg.kg^{-1}) de hidrocarbonetos de petróleo (HTP) medidos ao longo de 8 coletas semanais em experimento contendo doses de cascalho em Planossolo (A) e doses combinadas de cascalho com torta de mamona (B). As barras indicam o erro padrão da média..... 127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Volume total de cascalho de perfuração gerado no poço 7-MGP 98 D BA.....	12
Tabela 2. Volume total de cascalho de perfuração gerado no poço 7-SMC 50 D AL.....	13
Tabela 3. Constituintes de fluido convencional, tratado com polímero catiônico, utilizado no poço 7-SMC-50D-AL.....	21
Tabela 4. Constituintes de fluido de perfuração base não aquosa ou orgânico, utilizado em todas as fases de perfuração do poço 7-MGP-98D-BA e na fase III do poço 7-SMC-50D-AL.....	21
Tabela 5. Resultados de análises NBR 10005:2004 – Ensaio de lixiviação nas amostras compostas de cascalho do poço 7-MGP 98D BA	23
Tabela 6. Resultados de análises NBR 10006:2004 – Ensaio de solubilização nas amostras compostas de cascalho do poço 7-MGP 98D-BA	26
Tabela 7. Resultados das análises de pseudototais de metais pesados, nitrato e sódio, segundo a CETESB (2005) – Referência de qualidade de solo, nas amostras compostas de cascalho do poço 7-MGP-98D-BA.....	27
Tabela 8. Análises das amostras compostas do cascalho de perfuração do poço 7-MGP-98D-BA para hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.....	28
Tabela 9. Resultados dos totais de hidrocarbonetos de petróleo (HTP) nas amostras compostas de cascalho do poço 7-MGP-98D-BA.....	29
Tabela 10. Resultados dos totais de macronutrientes e cobre, zinco, ferro e manganês nas amostras compostas de cascalho de perfuração do poço 7-MGP-98D-BA.....	34
Tabela 11. Resultados dos teores disponíveis nas amostras compostas de cascalho de perfuração do poço 7-MGP-98D-BA.....	34
Tabela 12. Resultados de análises NBR 10005:2004 – Ensaio de lixiviação nas amostras compostas de cascalho do poço 7-SMC 50D AL.....	36
Tabela 13. Resultados de análises NBR 10006:2004 – Ensaio de solubilização nas amostras compostas de cascalho do poço 7-SMC 50D AL.....	38
Tabela 14. Resultados das análises de pseudototais de metais pesados, nitrato e sódio, segundo a CETESB (2005) – Referência de qualidade, nas amostras compostas de cascalho do poço 7-SMC-50D-AL.....	41
Tabela 15. Análises das amostras compostas do poço 7SMC-50D-AL para hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.....	42
Tabela 16. Análises de totais de hidrocarbonetos de petróleo (HTP) nas amostras compostas do poço 7-SMC-50D-AL.....	43
Tabela 17. Resultados dos totais de macronutrientes e cobre, zinco, ferro e manganês nas amostras compostas de cascalho de perfuração do poço 7-SMC-50D-AL.....	44
Tabela 18. Teores disponíveis de nutrientes nas amostras compostas de cascalho de perfuração do poço 7-SMC-50D-AL.....	44
Tabela 19. Análise dos teores de pseudototais de metais pesados, nitrato e sódio – CETESB (2005) Referência de qualidade, nas amostras compostas dos Argissolos das áreas do entorno das locações de poços de perfuração de petróleo nos estados da Bahia (BA) e Alagoas (AL).....	47
Tabela 20. Análises dos teores trocáveis nas amostras compostas dos solos das áreas do entorno das locações de poços de perfuração de petróleo, nos estados da Bahia (BA) e Alagoas (AL).....	47
Tabela 21. Atributos químicos dos solos utilizados como substratos no ensaio de evolução de CO ₂	55
Tabela 22. Amostras para quantificação microbiana após evolução de CO ₂	56

Tabela 23. Análise química do substrato de textura argilosa após a coleta das plantas de girassol.....	81
Tabela 24. Análise química do substrato de textura argilosa após a coleta das plantas de mamona	81
Tabela 25. Análise química do substrato de textura arenosa após a coleta das plantas de girassol.....	82
Tabela 26. Análise química do substrato de textura arenoso após a coleta das plantas de mamona	82
Tabela 27. Teores totais de K e Na (mg.kg^{-1}) em substratos onde cresceram plantas de girassol cultivadas em substratos de textura contrastante	83
Tabela 28. Teores totais de K e Na (mg.kg^{-1}) em substratos onde cresceram plantas de mamona cultivadas em substratos de textura contrastante	83
Tabela 29. Amostras compostas escolhidas (promissora e restritiva) dos poços de prospecção de petróleo, coletadas nos estados da Bahia e de Alagoas.	95
Tabela 30. Resultado de análise química de terra em substratos prontos e misturados, antes do plantio de girassol e cevada.	97
Tabela 31. Resultado da análise química de terra em substratos onde cresceram plantas de girassol submetidas às doses de cascalho de perfuração.	104
Tabela 32. Resultado da análise química de terra em substratos onde cresceram plantas de cevada submetidas as doses de cascalho de perfuração.	113
Tabela 33. Tratamentos utilizados no experimento que mediu os teores de sais disponibilizados após a degradação das cadeias de hidrocarbonetos de petróleo.....	122

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2	– CAPÍTULO I - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS CASCALHOS DE PERFURAÇÃO.....	3
2.1	RESUMO.....	4
2.2	ABSTRACT.....	5
2.3	INTRODUÇÃO.....	6
2.4	REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.4.1	Gestão de resíduos sólidos.....	7
2.4.2	Impactos causados por resíduos da exploração e produção de petróleo – resíduos de E&P.....	8
2.5	MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.5.1	Coleta do cascalho de perfuração e geração de amostras compostas.....	10
2.5.2	Caracterização do cascalho de perfuração.....	19
2.5.3	Coleta de solo do entorno das áreas de locação dos poços.....	20
2.6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
2.6.1	Caracterização dos fluidos de perfuração utilizados.....	21
2.6.2	Caracterização dos cascalhos de perfuração.....	22
2.6.3	Escolha das amostras compostas de cascalho para os capítulos subsequentes.....	45
2.6.4	Análises químicas dos solos do entorno das áreas de locação dos poços de petróleo.....	46
2.7	CONCLUSÕES.....	48
3	CAPÍTULO II - MINERALIZAÇÃO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS DO CASCALHO DE PERFURAÇÃO, MISTURADO COM TORTA DE MAMONA, MEDIDA PELA EVOLUÇÃO DE CO ₂	49
3.1	RESUMO.....	50
3.2	ABSTRACT.....	51
3.3	INTRODUÇÃO.....	52
3.4	REVISÃO DE LITERATURA.....	53
3.4.1	Degradação de contaminantes no solo por micro-organismos.....	53
3.5	MATERIAL E MÉTODOS.....	55
3.5.1	Mineralização dos compostos orgânicos do cascalho, estimado pela evolução de CO ₂	55
3.5.2	Quantificação dos grupos de micro-organismos.....	55
3.5.3	Total de hidrocarbonetos de petróleo (HTP).....	57
3.5.4	Análises estatísticas dos dados.....	57
3.6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
3.6.1	Evolução de CO ₂	58
3.6.2	Quantificação dos grupos de micro-organismos.....	60
3.6.3	Totais de hidrocarbonetos de petróleo.....	63
3.7	CONCLUSÕES.....	65
4	CAPÍTULO III - USO DE CASCALHO EM ENSAIOS PRELIMINARES COM ESPÉCIES OLEAGINOSAS.....	66
4.1	RESUMO.....	67
4.2	ABSTRACT.....	68
4.3	INTRODUÇÃO.....	69
4.4	REVISÃO DE LITERATURA.....	70

4.4.1	Salinização dos solos e potencial de novas espécies como plantas indicadoras	70
4.4.2	Interações entre plantas e micro-organismos	71
4.5	MATERIAL E MÉTODOS	72
4.5.1	Ensaio com oleaginosas	72
4.5.2	Coleta e análise das plantas	72
4.5.3	Coleta e análises dos substratos utilizados.....	72
4.5.4	Análises da quantificação dos grupos de micro-organismos	72
4.5.5	Análises estatísticas dos dados.....	72
4.6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
4.6.1	Ensaio com oleaginosas	73
4.6.2	Resultado das análises químicas dos substratos.....	80
4.6.3	Quantificação dos grupos de micro-organismos	83
4.6.4	Total de hidrocarbonetos de petróleo	86
4.7	CONCLUSÕES	88
5	CAPÍTULO IV - ACÚMULO DE SÓDIO E POTÁSSIO EM <i>Helianthus annuus</i> e <i>Hordeum vulgare</i> E EFEITO NOS TEORES DE BASES TROCÁVEIS DOS SUBSTRATOS	89
5.1	RESUMO.....	90
5.2	ABSTRACT.....	91
5.3	INTRODUÇÃO	92
5.4	REVISÃO DE LITERATURA.....	93
5.4.1	Estresse salino e uso de plantas tolerantes	93
5.5	MATERIAL E MÉTODOS	95
5.5.1	Uso de cascalho de perfuração no cultivo de espécies vegetais.....	95
5.5.2	Preparo das doses e análises dos teores disponíveis, no tempo inicial, antes do plantio.	97
5.5.3	Análise estatística dos dados	97
5.6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	98
5.6.1	Cultivo de <i>Helianthus annuus</i> - girassol	98
5.6.2	Análise dos substratos onde cresceram plantas de girassol.....	102
5.6.3	Análise dos teores totais de hidrocarbonetos de petróleo	105
5.6.4	Cultivo de <i>Hordeum vulgare</i> - cevada	106
5.6.5	Análises dos substratos onde cresceram plantas de cevada	111
5.6.6	Análises dos teores totais de hidrocarbonetos de petróleo.....	114
5.7	CONCLUSÕES	116
6	CAPÍTULO V - RELAÇÃO ENTRE DEGRADAÇÃO DE HIDROCARBONETOS E A LIBERAÇÃO DE SÓDIO PRESENTE NO CASCALHO DE PERFURAÇÃO.....	117
6.1	RESUMO.....	118
6.2	ABSTRACT.....	119
6.3	INTRODUÇÃO	120
6.4	REVISÃO DE LITERATURA.....	121
6.5	MATERIAL E MÉTODOS	122
6.5.1	Análises estatísticas dos dados.....	122
6.6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	123
6.7	CONCLUSÕES	128
7	CONCLUSÕES GERAIS.....	129
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os cascalhos de perfuração são rochas moídas, embebidas em fluido de perfuração (mistura complexa de base aquosa ou orgânica, rica em sais de sódio e baritina) que são trazidos à superfície, a partir da perfuração de poços de petróleo. Essa operação, feita no mar (*offshore*) ou na terra (*onshore*), gera anualmente toneladas desse material, que, uma vez misturado ao fluido, precisa ser tratado antes de ser disposto no ambiente ou mesmo reaproveitado em vias de acesso da própria locação dos poços em terra.

As atividades de perfuração de poços gera divisas para o país e são de importância estratégica para o seu desenvolvimento. Entretanto, causadoras de grandes impactos ambientais, cada vez mais os órgãos responsáveis pressionam as indústrias do ramo, na busca pela minimização desses impactos e, se possível, reaproveitamento dos resíduos gerados.

Não há, ainda no Brasil, uma legislação específica para avaliação desse material e muito menos uma regulamentação a nível federal para nortear os estados da federação no que tange a disposição e tratamento desse resíduo. Em estados mais restritivos como o Rio Grande do Norte, o cascalho de perfuração é incinerado em outros, como Bahia ele é reaproveitado nas vias de acesso da própria locação. Em países como os EUA o cascalho é disposto em fazendas, aplicado via processo de *landfarm*.

Partindo da premissa que os cascalhos são nada além de rochas moídas e que estas podem conter minerais essenciais ao crescimento vegetal e, tomando por base a crescente preocupação da sociedade pelo correto tratamento e disposição de resíduos potencialmente impactantes ao ambiente e, por último, não havendo referência nenhuma sobre seu potencial uso na agricultura, faz-se necessária sua caracterização e demonstração do seu potencial de uso. O que corrobora o comprometimento ambiental e o manejo atual no gerenciamento e reutilização de resíduos, definidos por diversos tratados, ratificados por diferentes nações do mundo, entre as quais o Brasil é também signatário.

Enxergar soluções inovadoras em potenciais problemas podem gerar benefícios e fortalecer os anseios de uma sociedade cada vez mais preocupada com o ambiente e com a geração de passivos ambientais. E não é de outra forma, se não a investigação científica agrônômica, a causa e precursora de novas tecnologias de uso destes resíduos que visam maior produtividade no campo, com mais economia, sustentabilidade e, sobretudo responsabilidade.

Desta forma, aliando a prática ambiental de gerenciamento de resíduos com a remediação de áreas salinizadas, estabeleceram-se as hipóteses de que o cascalho de perfuração tem aplicabilidade como insumo agrícola. Além disso, seu uso pode representar uma economia na correção do solo e fornecimento de nutrientes essenciais para a produção de oleaginosas destinadas à fabricação de biodiesel, por exemplo.

A confirmação de tais hipóteses atenderia tanto ao protocolo de Kyoto, bem como às recomendações da Agenda 21 e é com vistas a estas que o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece princípios para a gestão de resíduos e atendimento da Agenda 21 da seguinte forma hierarquizada: a não geração de resíduos; a minimização da geração; a reutilização; a reciclagem; o tratamento; e, a disposição final. Desta forma a opção do uso do cascalho de perfuração como insumo agrícola atende aos "mecanismos flexíveis" (Comércio de Emissões de Carbono, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e a Implementação Conjunta) do Protocolo de Kyoto. Por outro lado, se disposto sem estudos prévios no solo, pode apresentar resultados negativos previsíveis, como a contaminação com sais e metais, tornando-o improdutivo para agricultura.

Neste estudo o objetivo geral foi avaliar a viabilidade agronômica, técnica e ambiental de uso do cascalho de perfuração de poços de petróleo como corretivo da acidez do solo.

Com base no objetivo geral, distintos ensaios experimentais foram realizados, de modo que este trabalho foi dividido em cinco capítulos, na seguinte ordem:

- Capítulo I: Caracterização química dos cascalhos de perfuração.
- Capítulo II: Mineralização dos compostos orgânicos do cascalho de perfuração misturado com torta de mamona, medida pela evolução de CO₂.
- Capítulo III: Uso de cascalho em ensaios preliminares com espécies oleaginosas.
- Capítulo IV: Acúmulo de sódio e potássio em *Helianthus annuus* e *Hordeum vulgare* e efeitos nos teores de bases trocáveis dos substratos.
- Capítulo V: Relação entre degradação de hidrocarbonetos e a liberação de sódio, presente no cascalho de perfuração.

CAPÍTULO I

2 – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS CASCALHOS DE PERFURAÇÃO

2.1 RESUMO

Cascalhos de perfuração são rochas moídas, gerados a partir da perfuração de poços de petróleo em terra e mar. Os cascalhos chegam à superfície, embebidos em fluidos de perfuração. Fluidos, por sua vez, são misturas complexas que podem ser de base aquosa ou orgânica e são utilizados na indústria petrolífera de todo o mundo, entre outras funções para manter o peso da coluna de perfuração, lubrificar a broca de perfuração e manter a estabilidade do poço, evitando seu desmoronamento. Esse trabalho teve por objetivo adequar uma forma de coleta e identificação desse material nunca antes proposta em nenhum estudo, ou seja, no campo, separando-o por fase de perfuração, fluido utilizado e material geológico atravessado, além do equipamento de recuperação do fluido. Para tanto, foram acompanhadas a perfuração completa de dois poços de petróleo em terra, um no estado da Bahia e outro no estado de Alagoas, e um intrincado método de coleta foi desenvolvido para que se assemelhasse ao máximo com uma coleta de solo e a partir daí uma completa caracterização química foi feita para verificar, à luz da legislação pertinente e em vigor no país, seus reais constituintes e possíveis contaminantes. Os resultados mostraram que os cascalhos coletados nos dois poços devem ser classificados como Resíduo Classe II A (Não Perigoso e Não Inerte), conforme a ABNT/NBR-10004:2004 (Resíduos Sólidos – Classificação) e que, apesar de se enquadrarem como Classe IIA, há uma clara diferenciação desses resíduos, quando ocorre segregação entre os distintos aparelhos de recuperação do fluido.

Palavras chave: Destinação final. Classificação. Resíduos sólidos.

2.2 ABSTRACT

Drill cuttings are crushed rocks, generated from the drilling of oil wells on land and sea. The cuttings reach the surface, embedded in drilling fluids. Fluids, on the other hand, are complex mixtures that can be organic or aqueous based and are used by oil industry around the world, among other functions to maintain the drill string weight, lubricate the drill bit and to maintain the well stability, avoiding collapse. This study aimed to adapt a sampling protocol and identification of this material not previously proposed in any study, that is, in the field sampling, separating the material by the drilling phase, the used fluid and geological traversed material, besides the fluid recovery equipment. For this, the complete drilling of two oil wells on land were followed, one in the Bahia State and another in the Alagoas State, and an intricate gathering method was developed to resemble the most possible a soil sampling and after that a complete chemical characterization was made to investigate under the view of the applicable legislation in the country, their real constituents and possible contaminants. The results showed that the cuttings collected from the two wells should be classified as Class II A (Non-Hazardous and Non-Inert), as ABNT/NBR-10004: 2004 (Solid Residues - Rating) and although they fit as Class IIA, there is a clear difference of these residues when separation occurs between different fluid recovery apparatus.

Key words: Final destination. Classification. Solid residues.

2.3 INTRODUÇÃO

O petróleo, em pleno século XXI, ainda é um combustível essencial ao desenvolvimento das sociedades. Para uma sociedade que busca conciliar desenvolvimento e sustentabilidade, o uso desse combustível como fonte primária de energia ainda é um gargalo para a preservação dos ambientes marinhos e costeiros em função dos grandes impactos causados quando são feitas as explorações e perfurações dos poços. Além disso a atividade de produção e refino desse produto gera também impactos importantes para o ambiente e representa um enorme desafio para as indústrias do setor, que precisam gerir de forma responsável todos os passivos gerados nessas diferentes operações.

Nesse contexto, os cascalhos de perfuração são importantes por conta do seu grande volume gerado e por suas diferentes exigências de manejo e disposição em cada unidade de federação do país. Estados do Brasil adotam distintas regras para lidar com esse resíduo, o que acaba desfavorecendo não só as indústrias, mas também o próprio ambiente uma vez que estados como Alagoas, por exemplo, permitem uma determinada porcentagem de mistura desse material no solo do entorno da região da locação dos poços. Outros, como Rio Grande do Norte exigem a incineração.

Foi pensando justamente nessas diferentes práticas e destinos aplicados a esse material que este trabalho objetivou um profundo estudo de identificação, separação e caracterização desse material (que começou na própria locação e prospecção do poço) até uma completa caracterização química para se identificar seus reais riscos ao ambiente final de disposição. A partir daí, propor a criação de um plano de manejo e uso na agricultura, de forma responsável e ambientalmente segura.

Para atender a esse objetivo foi feita a coleta de volumes representativos de dois poços de perfuração de petróleo (em duas locações distintas, nos estados da Bahia e de Alagoas) em sua totalidade (para acompanhar de perto, todas as intrincadas fases de perfuração e fluidos utilizados) e, posterior separação por fase, equipamentos, litologia e fluido, além de uma completa caracterização química, à luz de legislações pertinentes e em vigor no país.

2.4 REVISÃO DE LITERATURA

Mesmo com o incremento dos agrocombustíveis na matriz energética brasileira e mundial, o petróleo e seus derivados ainda ocupam lugar de destaque na fonte primária de energia e consumo do planeta. E no Brasil não é diferente. As atividades ligadas ao petróleo, em especial, a exploração, o refino e o transporte, ao mesmo tempo em que se tornaram imprescindíveis para o crescimento do país e da humanidade de uma maneira geral, são potencialmente poluidoras, além de contribuírem de forma direta e/ou indireta para o aumento do efeito estufa e, por conseguinte para o aquecimento global (Freitas, 2009).

Neste contexto, a atividade petrolífera é desenvolvida em condições cada vez mais restritivas do ponto de vista ambiental, sendo incessantes os estudos e investimentos na busca por sustentabilidade. Não obstante, o impacto ambiental da atividade é inevitável, haja vista que, notadamente são gerados resíduos. A sustentabilidade é um aspecto que, de fato, deve estar contemplado em todos os projetos de empreendimentos na atualidade, sobretudo no que diz respeito às atividades de reconhecido impacto ambiental como as de exploração e produção de petróleo (Dias et al., 2004).

Nas operações de perfuração, conduzidas como parte do processo de extração de óleo e gás, destaca-se a fase exploratória, que envolve a perfuração de poços para se determinar a presença de hidrocarbonetos (Santos et al., 2005). A perfuração é o único método de investigação capaz de confirmar e quantificar de forma direta o potencial da estrutura geológica portadora de hidrocarboneto (petróleo ou gás), através das análises de amostras do cascalho (fragmentos das rochas atravessadas) coletado, testemunhos e perfis elétricos obtidos. A perfuração de um poço pode ser realizada através de dois métodos, o percussivo e o rotativo (Lins & Luz, 2003).

Na perfuração rotativa, as rochas são perfuradas pela ação da rotação e peso aplicados a uma broca existente na extremidade da coluna de perfuração. Desde a sua criação, no início do século XX, o método rotativo vem passando por diversos melhoramentos, sendo o mais utilizado na indústria do petróleo da era moderna. Os fragmentos de rocha triturados pela broca de perfuração, conhecidos como cascalho de perfuração, são removidos continuamente através de um fluido de perfuração, que é injetado por dentro da coluna de perfuração e retorna pelo espaço anular entre a coluna e as paredes do poço. Na superfície, o cascalho e os sedimentos finos são separados do fluido através de vários equipamentos. Uma vez limpo, o fluido retorna ao poço (Lins & Luz, 2003).

Como resultado da atividade exploratória há o descarte do cascalho, revestido com fluido de perfuração, muitas vezes na própria área de exploração ou em sítios de tratamentos. Entre os fluidos existentes encontram-se fluidos de base aquosa e de base não aquosa. Durante os últimos vinte anos, estudos têm sido realizados para avaliar o destino e os efeitos de descarga de cascalho e fluido de perfuração no ambiente. Os elementos desses estudos incluem caracterização da composição e volume dos efluentes, avaliação do potencial dos efeitos de descarga e monitoramento em campo já que o destino, a persistência e a biodegradabilidade dos hidrocarbonetos nos cascalhos constituem motivo de grande preocupação (Santos et al., 2005).

2.4.1 Gestão de resíduos sólidos

De acordo com a ABNT, a classificação de resíduos sólidos envolve a identificação do processo que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. A segregação dos resíduos na fonte geradora e a identificação da sua origem são

partes integrantes dos laudos de classificação, onde a descrição de matérias-primas, de insumos e do processo no qual o resíduo foi gerado devem ser explicitados.

Os resíduos sólidos são classificados em dois grupos – perigosos e não perigosos, sendo ainda este último grupo subdividido em não inerte e inerte (ABNT, 2004).

O interesse no uso de resíduos orgânicos na agricultura brasileira, quando devidamente tratados e, ou, compostados, está fundamentado nos elevados teores de C de compostos orgânicos (CO) e de nutrientes neles contidos, no aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) e na neutralização da acidez. Aumentar os teores de CO e de nutrientes do solo pode significar melhorias nas suas propriedades físicas e químicas e, conseqüentemente, incrementos na produtividade e na qualidade dos produtos agrícolas, bem como redução nos custos de produção. Não obstante os benefícios, esses resíduos orgânicos podem apresentar potencial poluidor ou contaminante: a adição deles ao solo ou à água pode introduzir elementos inorgânicos ou compostos orgânicos tóxicos ou patogênicos na cadeia alimentar. As principais preocupações do agricultor com o uso de resíduos orgânicos devem ser: a quantidade de N adicionada ao solo e os teores de elementos e compostos inorgânicos e orgânicos tóxicos que esses materiais podem conter. Isso revela que o monitoramento das possíveis alterações que possam ocorrer no sistema agrícola, vinculado à legislação pertinente, é imprescindível para o sucesso da gestão de resíduos na área agrícola. Solos com teores de matéria orgânica baixos, pouco férteis, sob práticas culturais inapropriadas e o alto custo dos fertilizantes são alguns dos fatores de baixa produtividade da agricultura brasileira. O uso racional de resíduos orgânicos na agricultura, amparado por legislação ou norma, programa de controle de qualidade e pesquisa pertinentes, poderá contribuir significativamente para incrementos de produtividade e de qualidade agrícola, com melhor relação custo/benefício (Abreu Jr et al., 2005). Freitas (2009), avaliando o crescimento de oleaginosas sob diferentes doses de resíduo orgânico da produção de biodiesel, em amostras de solo arenoso, contaminado e não contaminado com petróleo, concluiu que o resíduo utilizado tem aplicabilidade na agricultura como fertilizante orgânico e seu uso encontra respaldo na legislação do MAPA (IN 23, 2005) como fertilizante orgânico composto de classe “B”. Além disso, sua incorporação no solo pode estimular a atividade microbiológica e assim, favorecer e /ou aumentar a capacidade de degradar contaminantes orgânicos, inerente a alguns micro-organismos ali presentes. Ainda segundo o autor, ignorar o potencial que os resíduos podem apresentar é atuar contra os diferentes tratados que reforçam a preservação do meio ambiente e a redução do desperdício. Atentar com parcimônia e responsabilidade para a utilização e/ou reutilização de resíduos pode contribuir para o crescimento e o desenvolvimento sustentável.

2.4.2 Impactos causados por resíduos da exploração e produção de petróleo – resíduos de E&P

Dentre os rejeitos produzidos pela atividade de exploração de poços de petróleo, o cascalho de perfuração merece destaque em razão da sua importância como potencial agente poluente, em função do fluido utilizado (Dias et al., 2004).

Na literatura alguns autores definem fluidos de perfuração como misturas complexas de sólidos, líquidos e, por vezes, até gases, que, do ponto de vista químico, podem assumir aspectos de suspensão, dispersão coloidal ou emulsão, dependendo do estado físico dos componentes. Além disso, o cloreto de sódio é largamente utilizado na composição dos fluidos (Lima, 2001; Vaqueiro, 2006).

Vaqueiro (2006) em trabalho que avaliou o potencial de contaminação de aquíferos porosos a partir da perfuração de poços de petróleo utilizando fluido n-parafina fez uma extensa revisão em que afirma, junto com outros autores (Burke & Veil, 1995; Souza & Lima, 2002) que os fluidos de base água são aqueles compostos por aproximadamente 90% em

volume de água, com a adição de componentes tais como barita, argila, polímeros, lignosulfonatos, entre outros. A água utilizada pode ser industrial, do mar ou soluções salinas e, os fluidos de base não-aquosa são aqueles que apresentam compostos de reduzida miscibilidade em água como fase contínua, e a água como fase dispersa. Estes fluidos também são chamados de emulsão inversa, uma vez que as gotas de água ficam encapsuladas pelo óleo ou outro composto, tendo maior dificuldade de interagir com as camadas argilosas (Vaqueiro, 2006).

Ainda segundo esse autor, a contaminação de aquíferos e solos pelos fluidos de perfuração e pela disposição inadequada do cascalho gerado pela atividade de exploração e perfuração de poços de petróleo é uma constante preocupação ambiental (Vaqueiro, 2006).

Os fluidos de base óleo ou base não aquosa (OBM “*oil base mud*”) têm conferido excelentes resultados na perfuração de poços. Porém, nos últimos anos, devido ao seu alto potencial de poluição, o uso destes fluidos em alguns países tem sido condenado. Nos dias atuais, os fluidos de perfuração têm sido alvo de diversas discussões entre pesquisadores, grupos de pesquisa, empresas da área e órgãos ambientais. O principal ponto de discussão é encontrar soluções aos problemas causados pela contaminação das formações geológicas com as quais o fluido de perfuração entra em contato, podendo-se destacar os reservatórios de hidrocarbonetos e os aquíferos (Farias et al., 2009).

Desta forma, a indústria do petróleo começou a demonstrar um grande interesse no desenvolvimento de um fluido de perfuração ambientalmente seguro que de uma maneira eficaz promova a estabilização da formação como promovem os fluidos base óleo e os fluidos base óleo sintéticos. Estas pesquisas visam o desenvolvimento de fluidos de perfuração base água ou aquosos (WBM, “*water base mud*”), ou seja, fluidos contendo diversos componentes químicos dissolvidos numa fase contínua, no caso a água. Entre esses componentes estão a bentonita sódica que funciona como viscosificante, além de polímeros, soda cáustica, amido, cloretos e hidróxidos à base de sódio, cálcio e potássio. A barita e a hematita, por possuírem elevada densidade dos grãos, são utilizadas como densificantes (Duarte, 2004). Em poços exploratórios as quantidades aproximadas desse resíduo variam de 200 a 1000 toneladas. A legislação inglesa e norte-americana determina valores fixos para descarte e/ou disposição adequada desses resíduos. No Brasil, não há, ainda, um critério ambientalmente seguro e claramente definido para o descarte ou mesmo tratamento deste material, ficando a cargo dos órgãos ambientais o destino final dos cascalhos gerados. Em geral, os cascalhos são lançados em diques próximos às áreas de locação e sua disposição prolongada pode ocasionar a lixiviação dos sais solúveis, e potencial contaminação de solos e lençóis freáticos.

Arocena & Rutherford (2005) concluíram que muitos solos contaminados no Canadá estão associados às atividades passadas de extração de petróleo. Os autores avaliaram a física, química, elétrica e propriedades minerais de três solos de sítios de descarte de resíduos da atividade petrolífera em relação ao controle (solos adjacentes). Os resultados mostraram que a distribuição de tamanho de partículas, pH, N total, capacidade de troca catiônica, Mg^{2+} e a relação trocável de adsorção de sódio foi semelhante nos solos dos sítios de descarte e também no controle. O carbono Total, Ca^{2+} , K^+ e Na^+ , Mg^{2+} e condutividade elétrica foram maiores nos solos de sítios de disposição em relação ao controle. Estes autores concluíram ainda que algumas propriedades dos solos (por exemplo, alta condutividade elétrica) influenciadas por ações inerentes às atividades petrolíferas na região podem promover a degradação dos solos e assim torná-los menos favoráveis para o estabelecimento e crescimento de culturas agrícolas e florestais.

2.5 MATERIAL E MÉTODOS

2.5.1 Coleta do cascalho de perfuração e geração de amostras compostas

A coleta do cascalho foi realizada da seguinte forma: número de amostras simples geradas = $n \times 3$ (três equipamentos que formam o conjunto de recuperação do fluido de perfuração), onde “n” é igual à profundidade do poço (em metros) / 72 (metros)¹. O primeiro poço escolhido para prospecção e conseqüentemente coleta do cascalho teve profundidade final igual a 2865 m, o que resultou em um número total de 40 amostras simples para o equipamento secador (do tipo Vert G), 40 amostras para o equipamento centrífuga 1 e 17 amostras para o equipamento centrífuga 2.

O segundo poço teve profundidade final igual a 1700 metros, resultando em um número total de 25 amostras simples para o equipamento secador (do tipo vertical Vortex), 10 para o equipamento *mud cleaner*, 21 para o equipamento centrífuga 1 e 11 para o equipamento centrífuga 2².

A Figura 1 mostra, de forma simplificada, um esquema do conjunto de equipamentos de recuperação de fluidos de perfuração de poços de petróleo em terra, utilizado nas sondas de perfuração acompanhadas neste trabalho.

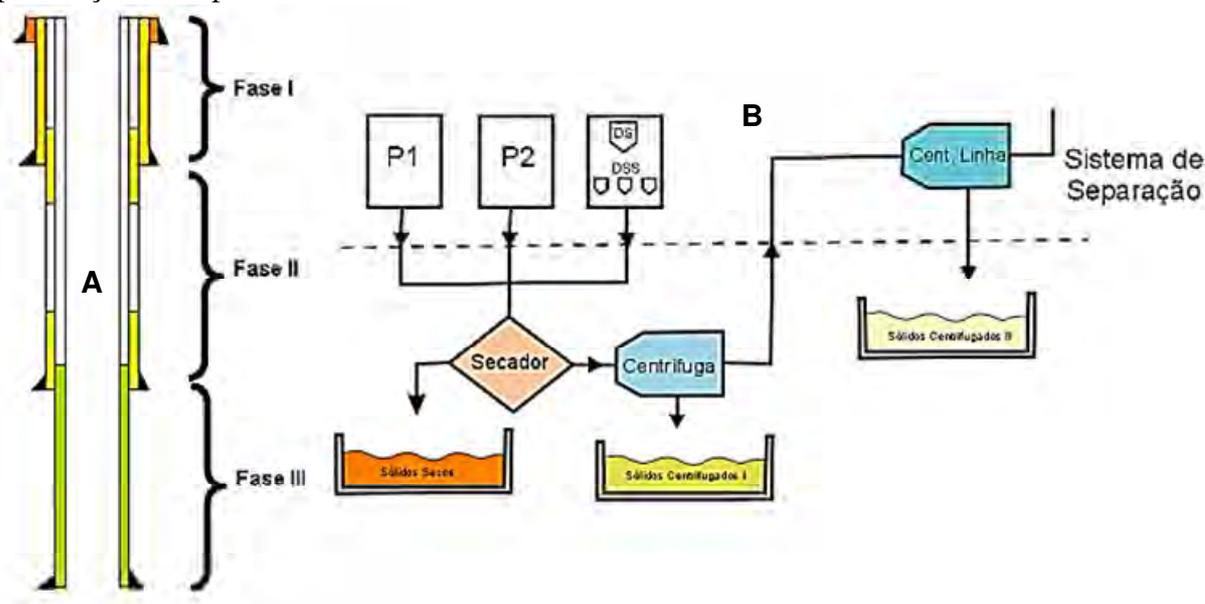


Figura 1. Fases da perfuração (A), à esquerda. À direita (B), um esquema da recuperação de fluido e secagem do cascalho de perfuração.

Foi obtida uma amostra composta para cada fase do poço, a partir das amostras simples detalhadas acima, por cada equipamento de recuperação do fluido de perfuração (secador, centrífuga 1 e centrífuga 2), a saber: Fase I, Fase II e Fase III, que serão mais bem detalhadas a seguir.

A primeira localização escolhida foi a MGP-774-8635-587, Poço 7-MGP 98-D BA, no campo de Miranga, na Bacia do Recôncavo, LATITUDE -12: 20:28.0185 S e LONGITUDE -

¹ 72 metros são equivalentes a 8 tubos de perfuração (*Drill pipe*) de aproximadamente 9 metros cada. Logo $8 \times 9 = 72$ metros.

² Especificamente, para este poço, o equipamento centrífuga tinha dupla função e, neste estudo, será identificada como “2”, quando seu uso estiver relacionado com a função de baixar a densidade do fluido do sistema.

38:11:38.4890 W, município de Pojuca, estado da Bahia, cuja finalidade era produção de óleo. O cascalho foi coletado diretamente na calha de cada um dos equipamentos de recuperação do fluido de perfuração, para evitar contaminação da amostra (Figura 2), e imediatamente acondicionado em sacos plásticos e armazenado ao abrigo do sol e chuva.

A segunda localização escolhida foi a SMC-772-8.908-914, no estado das Alagoas, no município de São Miguel dos Campos, cujo poço foi identificado como o 7-SMC 50-D AL, LATITUDE - 9:51:30:951 S e LONGITUDE -36:8:5848 W. Sua finalidade era produção de óleo na formação Barra de Itiúba. O cascalho foi coletado também diretamente na calha de cada um dos equipamentos de recuperação do fluido de perfuração (Figura 3) e imediatamente acondicionado em sacos plásticos e armazenado ao abrigo do sol e chuva.

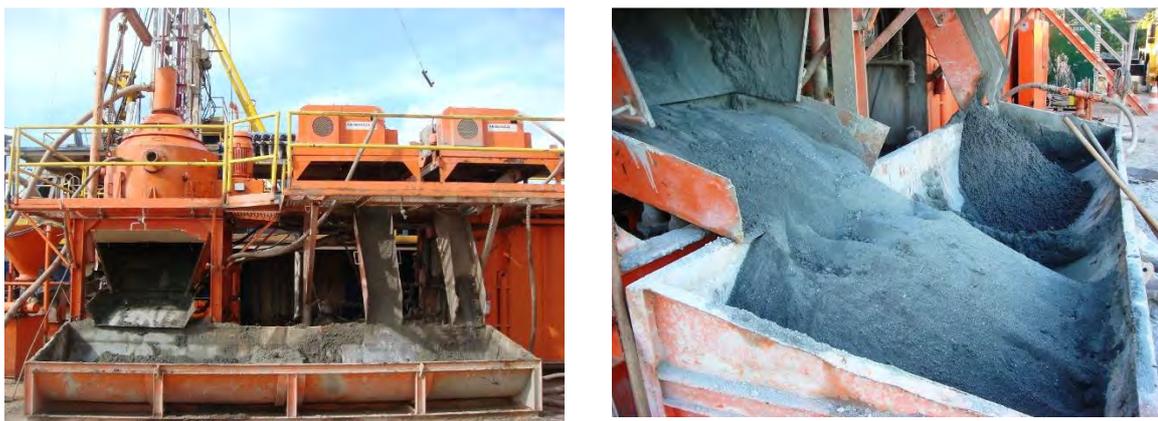


Figura 2. Sistema de recuperação do fluido de perfuração, utilizado pela Sonda BCH 05, no poço 7-MGP 98-D BA, no campo de Miranga, na Bacia do Recôncavo, Bahia. À direita, detalhe do cascalho de perfuração oriundo do Secador “Vert G” e das Centrífugas I e II. Fotos: Freitas, 2010.



Figura 3. Sistema de recuperação do fluido de perfuração, utilizado pela sonda SC-82, no poço 7-SMC 50-D AL, em São Miguel dos Campos, Alagoas. À esquerda, o Secador Vertical Vortex, no centro, o *Mud Cleaner* e à direita a Centrífuga de dupla função. Fotos: Freitas, 2010.

As amostras simples de cada um dos poços, em separado, foram agrupadas em amostras compostas, seguindo o critério das diferentes fases de perfuração e sequencia litológica e, também, dos diferentes equipamentos de recuperação de fluido, além de situações

inerentes à perfuração de poços de petróleo, tais como diminuição da densidade do fluido, por exemplo.

Para o poço 7-MGP 98-D BA, foram programadas 3 fases distintas de perfuração: 0 – 570 metros; 570 – 1550 metros e 1550 a 2865 metros. Para as três fases de perfuração somente o fluido de base orgânica foi utilizado. Após análise da estratigrafia do poço (Figura 4) e suas diferentes fases de perfuração, foram geradas então 7 amostras compostas para o secador “Vert G”, 7 amostras compostas para a Centrífuga I e 2 amostras compostas para a centrífuga II, totalizando 16 amostras para serem caracterizadas segundo a NBR 10004:2004, em laboratório credenciado. O volume total de cascalho gerado, por fase e por equipamento no poço 7-MGP 98-D BA, bem como suas porcentagens, nesse montante total está descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Volume total de cascalho de perfuração gerado no poço 7-MGP 98 D BA.

Poço 7-MGP 98-D BA				
Fase I 0 – 570 metros				
Equipamento/modelo	Volume gerado (m ³)	V. total (m ³)	% Total	% Óleo
Secador (Vert G)	126,08		91,41	4,2*
Centrífuga 1	10,65	137,92	7,72	15,9*
Centrífuga 2	1,27		0,87	-
Fase II 570 – 1.600 metros				
Equipamento/modelo	Volume gerado (m ³)	V. total (m ³)	% Total	% Óleo
Secador (Vert G)	107,65		82,37	4,8*
Centrífuga 1	22,02	130,68	16,85	9,1*
Centrífuga 2	1,01		0,78	-
Fase III 1.600 – 2.853 metros				
Equipamento/modelo	Volume gerado (m ³)	V. total (m ³)	%Total	% Óleo
Secador (Vert G)	64,32		79,18	3,6*
Centrífuga 1	6,79	81,23	8,36	-
Centrífuga 2	10,12		12,46	8,8*
Total de cascalho gerado = 349,91 m ³				

*Valores estimados em função do fluido utilizado em cada fase de perfuração e zonas de óleo (objetivos secundários nesse poço).

Para o poço 7-SMC-50-D-AL também foi feita uma programação em 3 fases distintas de perfuração: 0 – 255 metros; 255 – 943 metros e 943 a 1700 metros. Para a fase I utilizou-se o fluido convencional (Base água), para a fase II, o convencional com filtrado controlado e na fase III, o fluido de Base orgânica. Após análise da estratigrafia do poço (Figura 5) e suas diferentes fases de perfuração, foram geradas então 6 amostras compostas para o secador vertical “Vortex”, 3 para o *mud cleaner*, 3 para a centrífuga 1 e 3 para a centrífuga 2, totalizando 15 amostras para serem caracterizadas segundo a NBR 10004:2004, em laboratório credenciado. O volume total de cascalho gerado, por fase e por equipamento no poço 7-SMC 50-D AL, bem como suas porcentagens, nesse montante total está descrito na Tabela 2.

Na Figura 6 são apresentadas as fases da perfuração do poço 7-MGP 98-D BA, suas respectivas profundidades, bem como as fases litológicas além das amostras compostas

geradas por cada equipamento, sendo assim identificados: 1S, 2S, 3S, 4S, 5S, 6S e 7S (secador), 1C1, 2C1, 3C1, 4C1, 5C1, 6C1 e 7C1 (centrífuga 1) e C1 e C2 (centrífuga 2).

Tabela 2. Volume total de cascalho de perfuração gerado no poço 7-SMC 50 D AL

Poço 7-SMC 50-D AL				
Fase I 0 – 250 metros				
Equipamento/modelo	Volume gerado (m ³)	V. total (m ³)	% Total	% Óleo
Secador (Vortex)	34,09		75	***
Centrífuga 1	6,82	47,96	15	***
Centrífuga 2	4,55		10	***
Mud Cleaner	2,50*			
Fase II 250 – 943 metros				
Equipamento/modelo	Volume gerado (m ³)	V. total (m ³)	% Total	% Óleo
Secador (Vortex)	36,81		75	***
Centrífuga 1	7,36	52,07	15	***
Centrífuga 2	4,91		10	***
Mud Cleaner	3,00*			
Fase III 943 – 1.700 metros				
Equipamento/modelo	Volume gerado (m ³)	V. total (m ³)	%Total	% Óleo
Secador (Vortex)	22,82		75	3,38**
Centrífuga 1	4,56	30,43	15	9,57**
Centrífuga 2	3,04		10	12,47**
Mud Cleaner	-	-	-	-
Total de cascalho gerado = 130,46 m ³				

*Valores estimados em função do volume da caçamba. O *Mud Cleaner* não foi operado pela empresa contratada para recuperar o fluido na Sonda SC 82 e, na última fase de perfuração não funcionou.

**Valores estimados em função da programação do fluido utilizado e zonas de óleo (objetivos secundários) atravessadas.

*** A empresa contratada não forneceu a porcentagem parcial de óleo nas fases II e III de perfuração. Apenas contabilizou o total.

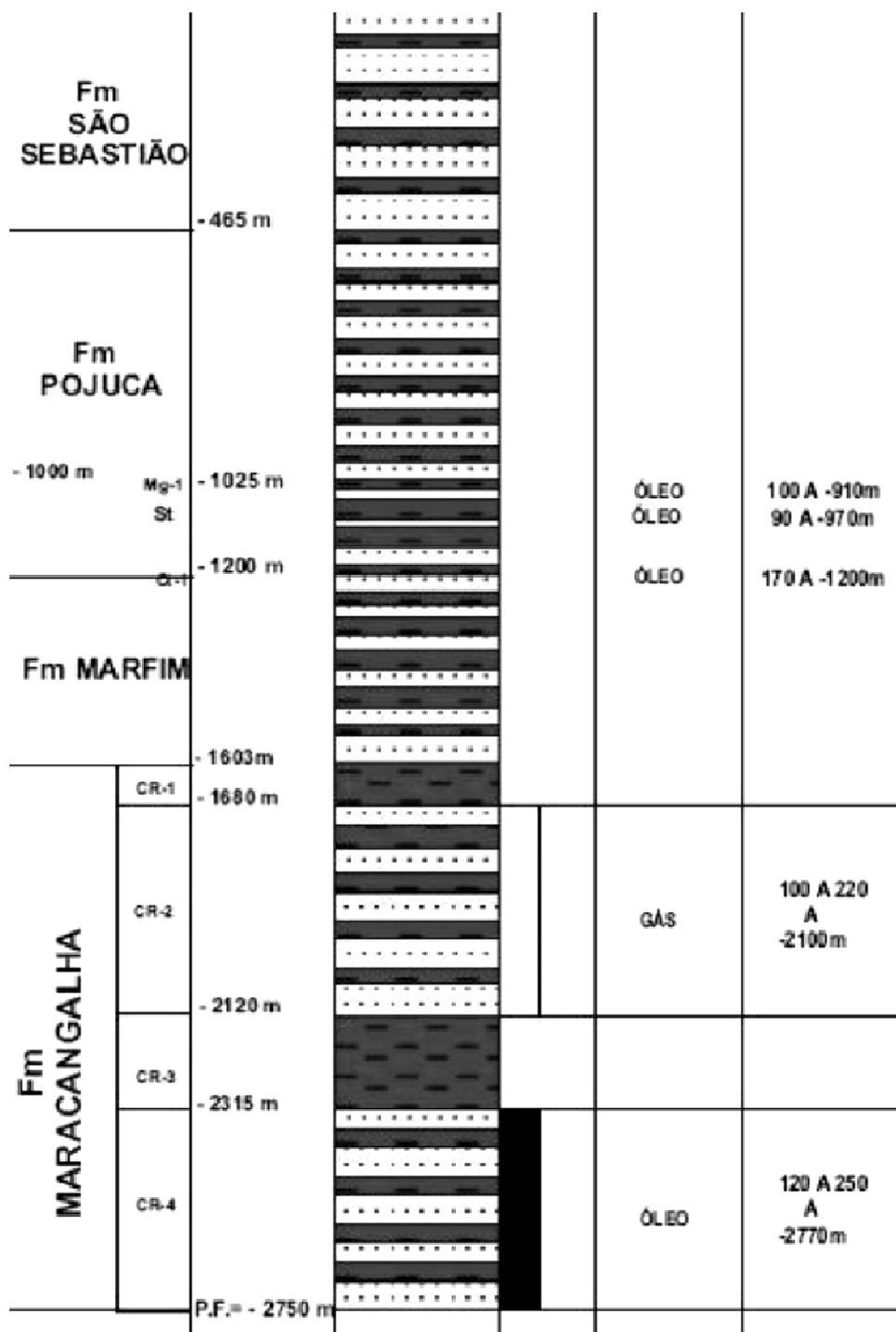


Figura 4. Quadro de previsão geológica para o poço de prospecção 7-MGP-98D-BA no campo de Miranga, na Bacia do Recôncavo, LAT -12: 20:28.0185 S e LONG - 38:11:38.4890 W, município de Pojuca, estado da Bahia. Adaptado de Sandóval, 2010.

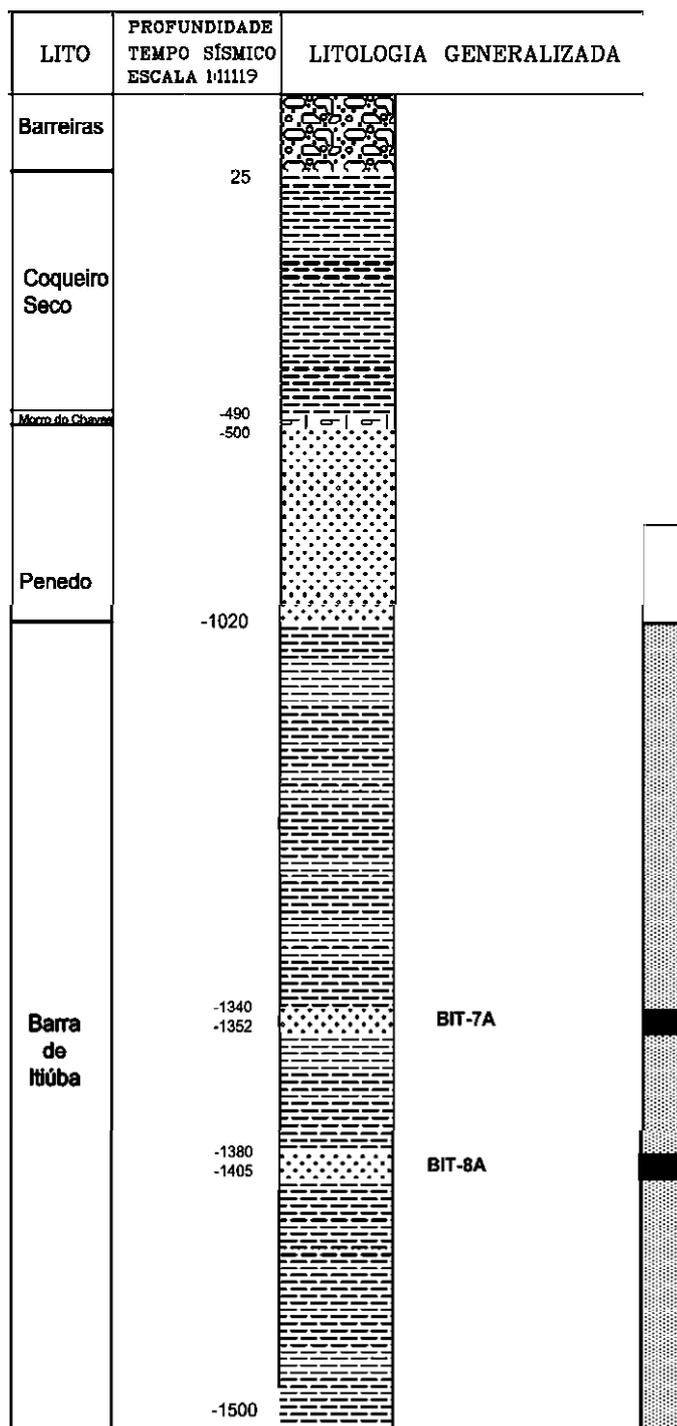


Figura 5. Quadro de previsão geológica para o poço de prospecção 7-SMC-50D-AL, no município de São Miguel dos Campos, LAT -9:51:30:951 S e LONG -36:8:5848 W, estado das Alagoas. Adaptado de Matumoto, 2010.

A Figura 7 e a Figura 8 mostram as fases da perfuração do poço 7-SMC-50-D-AL, suas respectivas profundidades, bem como as fases litológicas e as amostras compostas geradas por cada equipamento, sendo assim identificados: 1S, 2S, 3S, 4S, 5S e 6S (secador), 1M, 2M e 3M (*mud cleaner*), 1C1, 2C1 e 3C1 (centrífuga 1) e 1C2, 2C2 e 3C2 (centrífuga 2).

Id	Fase	Equipamentos		Informações Geológicas		Inf. do Fluido		Compostas/Identifi			Observação 1	Observação 2
		Prof. (m)	Seca	Cent1	Formação	Membro	Tipo	Densidade	Seca	Cent1		
1	I	0 - 72	1	1	São Sebastião		Sintético	8,9-9,2	1S	1C1	Zona de Transição água Doce/Salgada (543m)	
2	I	74 - 140	2	2	São Sebastião		Sintético					
3	I	140 - 198	3	3	São Sebastião		Sintético					
4	I	198 - 292	4	4	São Sebastião		Sintético					
5	I	292 - 360	5	5	São Sebastião		Sintético					
6	I	360 - 425	6	6	São Sebastião		Sintético	9,5-9,7				
7	I	425 - 506	7	7	São Sebastião		Sintético	9,4				
8	I	506 - 570	8	8	Pojuca		Sintético	9,4				
9	II	570 - 640	9	9	Pojuca		Sintético	2S	2C1	C1-Cent2(Antes ZAP)	Objetivo Secundário-Óleo	
10	II	640 - 712	10	10	Pojuca		Sintético					
11	II	712 - 778	11	11	Pojuca		Sintético					9,5-9,9
12	II	778 - 850	12	12	Pojuca		Sintético					
13	II	850 - 922	13	13	Pojuca		Sintético					
14	II	922 - 994	14	14	Pojuca		Sintético					10,2-10,6
15	II	994 - 1066	15	15	Pojuca	Miranga	Sintético					10,8-11,2
16	II	1066 - 1127	16	16	Pojuca	Miranga	Sintético					11,2-11,5
17	II	1127 - 1220	17	17	Pojuca	Santiago	Sintético					11,6
18	II	1220 - 1292	18	18	Marfim	Catu 1	Sintético					11,5
19	II	1292 - 1364	19	19	Marfim	Catu 1	Sintético	3S	3C1	Objetivo Secundário-Óleo	Objetivo Secundário-Óleo	Zona de Kick Zona de Kick Zona de Kick
20	II	1364 - 1436	20	20	Marfim	Catu 1	Sintético					
21	II	1436 - 1508	21	21	Marfim	Catu 1	Sintético	11,5				
22	II	1508 - 1600	22	22	Marfim	Catu 1	Sintético	11,5				
23	III	1600 - 1672	23	23	Maracangalha	Caruaçu 1	Sintético	5S	5C1	C2-Cent2(Depois ZAP)	Objetivo Secundário-Gás	
24	III	1672 - 1744	24	24	Maracangalha	Caruaçu 1	Sintético					10,5-9,5
25	III	1744 - 1816	25	25	Maracangalha	Caruaçu 2	Sintético					
26	III	1816 - 1888	26	26	Maracangalha	Caruaçu 2	Sintético					
27	III	1888 - 1960	27	27	Maracangalha	Caruaçu 2	Sintético					9,5
28	III	1960 - 2032	28	28	Maracangalha	Caruaçu 2	Sintético					9,6
29	III	2032 - 2104	29	29	Maracangalha	Caruaçu 2	Sintético					9,6-9,5
30	III	2104 - 2176	30	30	Maracangalha	Caruaçu 2	Sintético					9,5-9,6
31	III	2176 - 2320	31	31	Maracangalha	Caruaçu 3	Sintético					9,5
32	III	2320 - 2320	32	32	Maracangalha	Caruaçu 3	Sintético					6S
33	III	2320 - 2392	33	33	Maracangalha	Caruaçu 3	Sintético	9,6				
34	III	2392 - 2464	34	34	Maracangalha	Caruaçu 4	Sintético	10				
35	III	2464 - 2536	35	35	Maracangalha	Caruaçu 4	Sintético	9,5-9,6				
36	III	2536 - 2608	36	36	Maracangalha	Caruaçu 4	Sintético	7S	7C1	Profundidade Final		
37	III	2608 - 2680	37	37	Maracangalha	Caruaçu 4	Sintético				9,5-9,6	
38	III	2680 - 2752	38	38	Maracangalha	Caruaçu 4	Sintético				9,5	
39	III	2752 - 2824	39	39	Maracangalha	Caruaçu 4	Sintético				9,5	
40	III	2824 - 2853	40	40	Maracangalha	Caruaçu 4	Sintético	9,5				

Figura 6. Cronograma de informações gerais das coletas de amostras de cascalho do poço 7-MGP-98D-BA e formação das amostras compostas, por cada Fase de perfuração e equipamentos de recuperação de fluidos, para ensaios de caracterização de resíduos sólidos, segundo a NBR 10004:2004.

Id	Fase	Prof. (m)	Equipamentos		Formação	Inf. do Fluido	Compostas		Observação I	Observação I	
			Seca	Mud. C.			Secador	Mud cleaner			
1	I	0 - 72	x	N.F.	Barreira (25m)/Coqueiro Seco	Convencional	1S	1M	O equipamento Mud Cleaner só funcionou a partir dos 72 m. As iniciais N.F. significam: Não Funcionou		
2	I	72 - 144	x	x	Coqueiro Seco	Convencional					
3	I	144 - 216	x	x	Coqueiro Seco	Convencional					
4	I	216 - 255	x	x	Coqueiro Seco	Convencional					
5	II	255 - 327	x	x	Coqueiro Seco	Conv. c/Filtrado Controlado	2S	2M	Morro do Chaves (490 a 500 m) - Pequena formação de carbonato, contida dentro da formação Coqueiro Seco		
6	II	327 - 399	x	x	Coqueiro Seco	Conv. c/Filtrado Controlado					
7	II	399 - 471	x	x	Coqueiro Seco	Conv. c/Filtrado Controlado					
8	II	471 - 543	x	x	Coqueiro Seco(490m)/Penedo	Conv. c/Filtrado Controlado	3S	3M			
9	II	543 - 615	x	x	Penedo	Conv. c/Filtrado Controlado					
10	II	615 - 687	x	N.F.	Penedo	Conv. c/Filtrado Controlado					
11	II	687 - 759	x	x	Penedo	Conv. c/Filtrado Controlado					
12	II	759 - 831	x	x	Penedo	Conv. c/Filtrado Controlado					
13	II	831 - 903	x	N.F.	Penedo	Conv. c/Filtrado Controlado					
14	II	903 - 943	x	N.F.	Penedo	Conv. c/Filtrado Controlado					
15	III	943 - 1015	x	N.F.	Penedo(1020m)/Barra de Itiúba	N-Parafina	4S	Durante toda a terceira fase, o equipamento Mud Cleaner não funcionou, sendo identificado na coluna com as iniciais N.F.			
16	III	1015 - 1087	x	N.F.	Barra de Itiúba	N-Parafina					
17	III	1087 - 1159	x	N.F.	Barra de Itiúba	N-Parafina					
18	III	1159 - 1231	x	N.F.	Barra de Itiúba	N-Parafina	5S				
19	III	1231 - 1303	x	N.F.	Barra de Itiúba	N-Parafina					
20	III	1303 - 1375	x	N.F.	Barra de Itiúba	N-Parafina	6S				
21	III	1375 - 1447	x	N.F.	Barra de Itiúba	N-Parafina					
22	III	1447 - 1519	x	N.F.	Barra de Itiúba	N-Parafina					
23	III	1519 - 1591	x	N.F.	Barra de Itiúba	N-Parafina					
24	III	1591 - 1663	x	N.F.	Barra de Itiúba	N-Parafina					
25	III	1663 - 1700	x	N.F.	Barra de Itiúba	N-Parafina					

Figura 7. Cronograma de informações gerais das coletas de amostras de cascalho do poço 7-SMC-50D-AL e formação das amostras compostas, por cada Fase de perfuração e equipamentos secador e *mud cleaner*, de recuperação de fluidos, para ensaios de caracterização de resíduos sólidos, segundo a NBR 10004:2004.

Equipamento: Centrífuga 1					
1	I	x		Convencional	1 C1
2	II	x		Conv. c/Filtrado Controlado	
3	II	x		Conv. c/Filtrado Controlado	2 C1
4	II	x	Seu funcionamento não foi associado aos outros equipamentos e independia da profundidade do poço e formação geológica	Conv. c/Filtrado Controlado	
5	II	x		Conv. c/Filtrado Controlado	
6	II	x		Conv. c/Filtrado Controlado	
7	II	x		Conv. c/Filtrado Controlado	
8	II	x		Conv. c/Filtrado Controlado	
9	III	x			N-Parafina
10	III	x		N-Parafina	
11	III	x		N-Parafina	
12	III	x		N-Parafina	
13	III	x		N-Parafina	
14	III	x		N-Parafina	
15	III	x	Idem acima	N-Parafina	
16	III	x		N-Parafina	
17	III	x		N-Parafina	
18	III	x		N-Parafina	
19	III	x		N-Parafina	
20	III	x		N-Parafina	
21	III	x		N-Parafina	
Equipamento: Centrífuga 2 - Esta assim identificada quando utilizada para baixar a densidade do fluido					
1	I	x		Convencional	1 C2
2	I	x	Idem centrífuga 1	Convencional	
3	I	x		Convencional	
4	I	x		Convencional	
5	II	x		Conv. c/Filtrado Controlado	2 C2
6	II	x		Conv. c/Filtrado Controlado	
7	II	x	Idem centrífuga 1	Conv. c/Filtrado Controlado	
8	II	x		Conv. c/Filtrado Controlado	
9	II	x		Conv. c/Filtrado Controlado	
10	II	x		Conv. c/Filtrado Controlado	
11	III	x			N-Parafina

Figura 8. Cronograma de informações gerais das coletas de amostras de cascalho do poço 7-SMC-50D-AL e formação das amostras compostas, por cada Fase de perfuração e equipamentos centrífuga 1 e centrífuga 2, de recuperação de fluidos, para ensaios de caracterização de resíduos sólidos, segundo a NBR 10004:2004.

A centrífuga de dupla função era acionada para tratar o fluido acumulado no secador ou baixar o peso do sistema (basicamente retirar baritina do fluido de perfuração e diminuir o peso da lama). Por isso ela não tem relação direta com a profundidade. A coleta dessas amostras se deu em função do tempo de funcionamento em cada fase e das diferentes densidades do fluido.

O Secador e o *Mud Cleaner* foram os únicos equipamentos em que se pôde fazer associação com a profundidade do poço, levando em consideração as informações relacionadas à formação geológica e ao fluido, além de camadas com presença de óleo, como já explicadas anteriormente. Entretanto, ao final da segunda fase e durante toda a terceira o equipamento *Mud Cleaner* parou de funcionar (Figura 7).

2.5.2 Caracterização do cascalho de perfuração

As amostras foram caracterizadas em triplicata, segundo a Norma Técnica ABNT/NBR 10004:2004 (Resíduos sólidos – Classificação), estabelecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), tendo como prescrições a NBR 10005:2004 – Procedimento para obtenção do extrato lixiviado de resíduos sólidos e a NBR 10006:2004 – Procedimento para obtenção do extrato solubilizado de resíduos sólidos. A caracterização foi feita no laboratório da *Analytical Solutions*, no Rio de Janeiro e usou como referência as metodologias baseadas na SW 846 (USEPA 1986, *Test Method for Evaluating Solid Waste; Physical/Chemical Methods*, Washington, DC).

A determinação dos teores de pseudototais de metais pesados (alumínio, antimônio, arsênio, bário, boro, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, prata, selênio, vanádio e zinco), além de nitrato e sódio, foi feita de acordo com o descrito pela USEPA 6010 e USEPA 7000.

Também foram quantificados, no Laboratório do Departamento de Solos do Instituto de Agronomia da UFRRJ, os teores totais de nutrientes segundo Tedesco et al. (1995). N por digestão sulfúrica e determinação do N total pelo método de Kjeldahl e P, K, Ca, Mg, S, Ni, Cl, Fe, Cu, Mn, Mo e Zn por digestão nitroperclórica. P foi determinado por colorimetria, K por fotometria de emissão de chamas e os demais nutrientes por espectrofotometria de absorção atômica.

Os teores trocáveis de nutrientes, mais alumínio, sódio, carbono orgânico, bem como a determinação do pH do solo e da CTC, foram obtidos no Laboratório de Fertilidade do Solo da UFRRJ e seguiu a metodologia descrita em EMPRAPA, 1997. Além destas, também foram determinadas análises físicas – granulometria - das amostras de cascalho de perfuração.

Para analisar a influência do sódio nos cascalhos, bem como a salinidade e/ou sodicidade dos resíduos gerados, foram determinadas a Porcentagem de Sódio Trocável (PST) e Condutividade Elétrica do extrato de saturação (CE a 25°C), segundo EMBRAPA, 1997 e seus resultados comparados com Richards (1954)³, que também é o adotado por EMBRAPA (2006).

A determinação dos hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) e dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) foi feita no laboratório da *Analytical Solutions*, no Rio de Janeiro e seguiu a metodologia descrita pela USEPA 8015B e 8015C.

É preciso dizer que o resíduo em questão foi analisado como tal (resíduo sólido industrial), seguindo a norma ABNTNBR 10004:2004 vigente no país. Entretanto, em função do ineditismo deste estudo, outras análises foram feitas e, apenas para efeito comparativo, justamente para mostrar semelhança do cascalho de perfuração com as rochas, os resultados apresentados se mostram em tabelas com referências à normas e listas que são valores

³ Apesar de este ser um critério utilizado para solo, ele pode ser perfeitamente aplicável para este estudo uma vez que o objetivo principal é justamente o reaproveitamento agrônômico do resíduo em estudo. Além disso, a CETESB (2005), que poderia ser um parâmetro, não faz nenhuma referência a este elemento em sua lista.

orientadores para solo e somente solo. A intenção de mostrar esses resultados com valores de referência não embasam nenhuma discussão técnica científica ou mesmo resultado encontrado, como será visto mais adiante, principalmente porque o cascalho é resíduo e como tal foi caracterizado. A intenção não é comparar materiais distintos e sim apresentar parâmetros de referência de materiais possivelmente semelhantes no que tange aos seus constituintes minerais e orgânicos.

2.5.3 Coleta de solo do entorno das áreas de locação dos poços

Para efeito de comparação do cascalho gerado nas locações com o solo do entorno em cada uma das regiões estudadas foi feita coleta de amostras de terra, representativas dos horizontes superficiais dos solos ali identificados. A identificação destes solos foi feita em nível de campo, apenas no nível de ordem e seu interesse era apenas confirmar estudos prévios das áreas estudadas. Análises físicas dessas amostras, bem como seus respectivos atributos químicos foram verificadas em laboratório para que se possa comprovar a identificação feita a campo.

Foi feito levantamento dos solos em regiões dos Estados da Bahia e de Alagoas, mais especificamente nos municípios de Pojuca, BA e São Miguel dos Campos, AL. Segundo a classificação fisiográfica, as áreas de estudo se concentram na zona Litorânea e na Bahia corresponde à zona do Litoral Norte, Recôncavo, Cacauiera e Extremo Sul Estado na Bahia, sendo essas áreas onde se concentram a maior parte da exploração petrolífera. Através de pesquisa realizada nos levantamentos dos solos para as regiões citadas verificou-se que nos locais onde estão sendo realizadas as prospecções dos poços de petróleo, região costeira, há uma predominância das seguintes classes de solos: Neossolos, Gleissolos, Planossolos, Cambissolos, Solos Halomórficos (solos indiscriminados de mangue), Organossolos, Argissolos e Latossolos, sendo as duas últimas classes encontradas em menor expressão.

As coletas de solo foram georeferenciadas e feitas em áreas adjacentes às locações, porém livres de atividade antrópica. O solo no entorno da área de locação no município de Pojuca, Bahia, foi identificado como Argissolo (LAT -12: 20:56.7 S e LONG -38:12:355 W), e o da área próxima à locação no município de São Miguel dos Campos, Alagoas, foi também Argissolo e as coordenadas são LAT -9:51:396 S e LONG -36:8:170 W.

As amostras dos horizontes superficiais de solos representativos do entorno das áreas de locação foram misturadas de forma homogênea e secas ao ar e à sombra. Posteriormente as amostras foram destorroadas e peneiradas, para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA).

Essas amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo da UFRRJ, para serem analisadas física e quimicamente, de acordo com o proposto neste estudo.

A determinação dos teores pseudototais de metais pesados (alumínio, antimônio, arsênio, bário, boro, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, prata, selênio, vanádio e zinco), além de nitrato e sódio, foi realizada segundo o descrito pela USEPA 6010 e USEPA 7000. Os resultados encontrados foram comparados com o proposto pela CETESB, 2005 – Referência de Qualidade.

Também foram feitas, após digestão nitroperclórica, a quantificação dos teores totais de nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, níquel, cloro, ferro, cobre, manganês, molibdênio e zinco), de acordo com Tedesco et al. (1995)

Os teores trocáveis de nutrientes, mais Al, Na, Carbono orgânico, bem como o pH do solo e da CTC, foram obtidos no Laboratório de Fertilidade do Solo da UFRRJ, segundo EMPRAPA (1997). Além destas, também foi analisada a granulometria das amostras.

Para ter uma referência dos teores naturais de sódio (Na) nos solos do entorno das áreas de locação, foi analisada a Condutividade Elétrica do extrato de saturação (CE a 25°C), segundo EMBRAPA (1997) e os resultados comparados com método de EMBRAPA (2006).

2.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.6.1 Caracterização dos fluidos de perfuração

Na Tabela 3 são apresentados os produtos constituintes, bem como suas respectivas funções no fluido convencional, tratado com polímero catiônico, utilizado no poço 7-SMC-50D-AL, nas Fases I e II de perfuração. Os constituintes do fluido convencional utilizado no poço 7-SMC-50D-AL tem a água como base da sua constituição, utilizando sais de sódio e potássio (de interesse direto nesse estudo) que lhe conferem propriedades necessárias à perfuração de poços de petróleo naqueles reservatórios (Tabela 3).

Tabela 3. Constituintes de fluido convencional, tratado com polímero catiônico, utilizado no poço 7-SMC-50D-AL

Produto	Função
Água industrial	Fase contínua
Bicarbonato de sódio	Precipitar cálcio livre
Goma xantana - biopolímero	Viscosificante
CMC AV AS – polímero hidrossolúvel	Viscosificante/encapsulante
CMC ADS T-2 – polímero hidrossolúvel	Redutor de filtrado
KCl	Inibidor de inchamento de argila
Polímero catiônico	Inibidor de inchamento de argila
Triazina	Bactericida
Soda cáustica	Alcalinizante
Detergente	Preventor de enceramento
Baritina	Adensante

Na Tabela 4 são apresentados os constituintes do fluido base não aquosa que foi utilizado nas três fases de perfuração do poço 7-MGP-98D-BA, na cidade de Pojuca, recôncavo baiano, BA e também na terceira fase de perfuração do poço 7SMC-50D-AL, no município de São Miguel dos Campos, no estado de Alagoas.

Tabela 4. Constituintes de fluido de perfuração base não aquosa ou orgânico, utilizado em todas as fases de perfuração do poço 7-MGP-98D-BA e na fase III do poço 7-SMC-50D-AL.

Produto	Função
N-Parafina BR	Fase contínua
Emulsificante primário	Emulsificante - mistura de ácidos graxos
Óxido de Cálcio	Saponificante /Alcalinizante
Sol. Saturada de NaCl	Fase emulsionada
Argila organofílica	Viscosificante
Modificador reológico	Viscosific. - Derivados de ácidos graxos
Baritina	Adensante

Os fluidos de perfuração (Figura 9) são misturas complexas e possuem em sua constituição diferentes materiais, descritos na tabela 3 e 4. Pode-se verificar que tanto no fluido base água, quanto no fluido base orgânica estão presentes a baritina e o sódio na forma de produtos como Solução saturada de NaCl, Baritina, e Bicarbonato de sódio (Tabela 3 e Tabela 4). De acordo com Castelli (1994), os minerais industriais são usados *in natura*, ou após beneficiamento, em diversos segmentos da indústria do petróleo. Os insumos minerais mais usados na indústria do petróleo são: bentonita, barita, atapulgita, sepiolita, vermiculita, magnetita porosa, carbonato de cálcio, mica, perlita expandida, lignina, mica, grafita, cloreto de sódio, gipsita e gilsonita.



Figura 9. Aspecto dos fluidos utilizados na perfuração de poços de petróleo, à esquerda, (A), o fluido base orgânica e à direita (B), o fluido base água.

2.6.2 Caracterização dos cascalhos de perfuração - Poço 7MGP-98-D-BA

A caracterização dos cascalhos de perfuração oriundos do Poço 7-MGP 98-D BA – a partir de amostras compostas (Figura 6), segundo a NBR 10004:2004, tendo como prescrições a NBR 10005:2004 e a NBR 10006:2004, são mostrados na Tabela 5 (Ensaio de lixiviação) e Tabela 6 (Ensaio de solubilização).

De acordo com a ABNT (2004), a classificação de resíduos sólidos envolve a identificação do processo de origem, seus constituintes e características, e a comparação dos constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. Assim são classificados como resíduos Classe I ou Perigosos os resíduos sólidos ou mistura destes que, em razão de suas características físico-químicas ou infecto-contagiosas, possam apresentar risco à saúde pública provocando ou contribuindo para aumento da mortalidade ou da incidência de doenças e/ou, ainda, mostrar efeitos adversos ao meio ambiente se dispostos ou manuseados de forma inadequada. As características que conferem periculosidade ao resíduo são: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade (ABNT, 2004). Ainda de acordo com a ABNT, basta que o resíduo apresente uma das características citadas acima ou conste no anexo A ou B da ABNT/NBR 10004:2004 para ser considerado perigoso. O que não ocorre com nenhuma das amostras avaliadas já que os valores encontrados estão dentro dos limites estabelecidos para estas características e, também, as amostras não constam nos anexos A ou B da referida Norma. Pela natureza dos resíduos não há suspeita de patogenicidade, descartando-se assim, a possibilidade de periculosidade por este parâmetro, para os cascalhos de perfuração (ABNT, 2004). O mesmo autor explica ainda que, para que um resíduo não seja classificado como perigoso - devido a sua toxicidade, é preciso que este apresente, também, valores abaixo do máximo permitido pela NBR 10004:2004, nos ensaios de lixiviação.

Tabela 5. Resultados de análises NBR 10005:2004 – Ensaio de lixiviação nas amostras compostas de cascalho do poço 7-MGP 98D BA

LIXIVIADO	VMP	SEC (0-570 m)F1	CT1 (0 -570 m)F1	SEC (570 - 1127 m)F2	CT1 (570 - 1127 m)F2	SEC (1127-1364 m)F2	CT1 (1127-1364 m)F2	SEC (1364-1600 m)F2	CT1 (1364-1600 m)F2	SEC (1600-2176 m)F3	CT1 (1600-2176 m)F3	SEC (2176-2392 m)F3	CT1 (2176-2392 m)F3	SEC (2392-2853 m)F3	CT1 (2392-2853 m)F3	CT2 (Antes ZAP)	CT2 (Depois ZAP)
Resultados obtidos (mg. L ⁻¹)																	
Inorgânico																	
Arsênio	1,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Bário	70,0	1145	2052	1314	1791	1408	1615	1334	1019	1315	1067	1397	1232	2496	1914	3419	1587
Cádmio	0,5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Chumbo	1,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,031	N.D.
Cromo total	5,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Fluoreto	150,0	0,24	0,27	0,29	0,90	0,09	0,68	0,12	0,50	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,31	0,52	0,48	0,86
Mercurio	0,1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Prata	5,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Selênio	1,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Aldrin	0,003	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Dieldrin	0,003	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Clordano (isômeros)	0,02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
DDT	0,2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
DDD	0,2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
DDE	0,2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2,4-D	3,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Endrin	0,06	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Heptacloro	0,003	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Heptacloro epóxido	0,003	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Lindano	0,2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Metoxicloro	2,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Pentaclorofenol	0,9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Toxafeno	0,5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2,4,5-T	0,2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2,4,5-TP	1,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

LIXIVIADO	VMP	SEC (0-570 m)F1	CT1 (0 -570 m)F1	SEC (570 - 1127 m)F2	CT1 (570 - 1127 m)F2	SEC (1127-1364 m)F2	CT1 (1127-1364 m)F2	SEC (1364-1600 m)F2	CT1 (1364-1600 m)F2	SEC (1600-2176 m)F3	CT1 (1600-2176 m)F3	SEC (2176-2392 m)F3	CT1 (2176-2392 m)F3	SEC (2392-2853 m)F3	CT1 (2392-2853 m)F3	CT2 (Antes ZAP)	CT2 (Depois ZAP)
Inorgânico																	
Resultados obtidos (mg. L ⁻¹)																	
Benzeno	0,5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Benzo(a)pireno	0,07	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cloreto de vinila	0,5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Clorobenzeno	100	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Clorofórmio	6,0	0,0070	0,0100	0,0220	0,0190	0,0330	0,0070	0,0100	0,0150	0,0070	0,0190	0,0060	0,0050	0,0060	0,0050	0,0070	0,0080
Cresol total	200,0	0,0004	0,0032	0,0014	0,0096	0,0045	0,0033	0,0051	0,0072	0,0053	0,0139	0,0078	0,0089	0,0045	0,0084	0,0053	0,0240
o-cresol	200,0	0,0004	0,0011	0,0005	0,0030	0,0016	0,0011	0,0017	0,0024	0,0016	0,0035	0,0016	0,0019	0,0012	0,0022	0,0015	0,0050
m-cresol	200,0	N.D.	0,0014	0,0003	0,0043	0,0017	0,0015	0,0021	0,0036	0,0024	0,0062	0,0029	0,0039	0,0019	0,0047	0,0024	0,0125
p-cresol	200,0	N.D.	0,0007	0,0006	0,0024	0,0011	0,0006	0,0013	0,0012	0,0012	0,0042	0,0033	0,0031	0,0013	0,0014	0,0013	0,0065
1,4-diclorobenzeno	7,5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2-dicloroetano	1,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,1-dicloroetileno	3,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2,4-dinitrotolueno	0,13	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Hexaclorobenzeno	0,1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Hexaclorobutadieno	0,5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Hexacloroetano	3,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Metiltilcetona	200,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Nitrobenzeno	2,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Piridina	5,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tetracloroeto de carbono	0,2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tetracloroetileno	4,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tricloroetileno	7,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2,4,5-triclorofenol	400,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2,4,6-triclorofenol	20,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

*VMP: Valor Máximo Permitido segundo a referida norma para os ensaios de lixiviação.

**N.D.: Não detectado pelo método.

***SEC: Secador; CT1: Centrífuga 1; CT2: Centrífuga 2.

***F1: Fase 1; F2: Fase 2; F3: Fase 3.

***ZAP: Zona da área de produção de óleo.

A lixiviação, no texto da NBR 10005:2004, é definida como sendo o processo que determina a capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no extrator. Quando excedido o limite de concentração no extrato da lixiviação, o resíduo é classificado como perigoso – anexo F da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004). Em relação a estes ensaios, descritos para as amostras de cascalhos avaliadas, todos os valores se mostraram adequados aos limites estabelecidos para a caracterização quanto à toxicidade. Logo, os resíduos são classificados, pela norma ABNT/NBR 10004:2004, como Resíduos Classe II: Não Perigosos.

Ainda de acordo com a NBR 10004:2004 os Resíduos Classe II: Não Perigosos, são ainda divididos em duas classes distintas e esta classificação se baseia no teste de solubilização, no qual os resíduos são submetidos a um contato dinâmico e estático com água deionizada à temperatura ambiente, e a partir da análise de seus constituintes solubilizados, segue valores críticos definidos na respectiva Norma quanto a padrões de potabilidade da água, excetuando-se os aspectos cor, turbidez, dureza e sabor. A partir destes valores, são classificados então como Classe II A (Não Inertes) quando alguns de seus constituintes solubilizados ultrapassam os valores máximos estabelecidos e como Classe II B (Inertes) se todos os constituintes estiverem dentro dos limites adequados como descrito na norma (ABNT, 2004).

As análises do ensaio de Solubilização (Norma - NBR 10006) segundo os parâmetros apresentados no Anexo G da Norma 10004 da ABNT (2004), para as 16 amostras compostas analisadas de sedimentos são apresentados na Tabela 6. Os resultados obtidos mostraram que os teores de alumínio, cloreto, ferro, fluoreto, surfactantes e fenóis totais ultrapassaram seus respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP) em praticamente todas as amostras analisadas. Assim, os resultados mostram que, de acordo com a NBR 10004:2004, os cascalhos gerados no Poço 7-MGP98-D BA, se enquadram à classe de resíduo sólido NÃO PERIGOSO NÃO INERTE (CLASSE IIA).

A Tabela 7 mostra os resultados obtidos para as análises de pseudototais de metais pesados, nitrato e sódio para as 16 amostras compostas obtidas do Poço 7-MGP98-D BA.

Como foi descrito anteriormente o resíduo em questão foi analisado como tal (resíduo sólido industrial), seguindo a norma ABNT/NBR 10004:2004 vigente no país. Entretanto, em função do ineditismo deste estudo, outras análises foram feitas (Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9) com referências a normas e listas que são valores orientadores para solo e somente solo.

A intenção de mostrar esses resultados com valores de referência não embasam nenhuma discussão técnica científica ou mesmo resultado, como será visto mais adiante, principalmente porque o cascalho é resíduo e como tal foi caracterizado. A intenção não é comparar materiais distintos e sim apresentar parâmetros de referência de materiais possivelmente semelhantes em função da escassez de referências no país.

Tabela 6. Resultados de análises NBR 10006:2004 – Ensaio de solubilização nas amostras compostas de cascalho do poço 7-MGP 98D-BA

SOLUBILIZADO	VMP	Resultados obtidos (mg. L ⁻¹)															
		SEC (0-570 m)F1	CT1 (0 -570 m)F1	SEC (570 - 1127 m)F2	CT1 (570 - 1127 m)F2	SEC (1127-1364 m)F2	CT1 (1127-1364 m)F2	SEC (1364-1600 m)F2	CT1 (1364-1600 m)F2	SEC (1600-2176 m)F3	CT1 (1600-2176 m)F3	SEC (2176-2392 m)F3	CT1 (2176-2392 m)F3	SEC (2392-2853 m)F3	CT1 (2392-2853 m)F3	CT2 (Antes ZAP)	CT2 (Depois ZAP)
Inorgânico																	
Arsênio	0,010	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Alumínio	0,20	0,131	1.365	0,307	3.760	1.087	2.205	0,317	1.606	1.279	0,971	0,750	1.042	0,256	0,410	1.090	0,318
Bário	0,7	0,174	0,221	0,234	0,268	0,482	0,453	0,452	0,222	0,256	0,206	0,200	0,116	0,181	0,124	0,263	0,259
Cádmio	0,005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Chumbo	0,01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cianeto	0,07	N.D.	0,011	N.D.	0,028	0,018	0,017	0,019	0,011	0,050	0,009	0,028	0,013	0,016	0,014	N.D.	N.D.
Cloreto	250,0	375,04	367,56	1600,80	2940,32	5330,53	4795,61	2134,91	1316,29	1589,87	438,65	1091,80	368,08	1071,11	119,07	889,93	77,46
Cobre	2,0	0,011	0,060	0,040	0,167	0,183	0,054	0,157	0,042	0,112	0,015	0,071	0,021	0,103	0,007	0,046	N.D.
Cromo total	0,05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ferro	0,3	0,050	0,059	0,082	N.D.	0,323	N.D.	N.D.	N.D.	1.001	N.D.	0,507	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Fluoreto	1,5	1.811	0,186	1.172	2.130	4.945	4.336	2.054	1.750	2.054	0,164	1.978	0,289	1.552	0,027	0,669	N.D.
Manganês	0,1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,012	N.D.	N.D.	N.D.	0,027	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Mercúrio	0,001	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Nitrato (expresso em N)	10,0	N.D.	N.D.	0,80	3,26	4,52	1,51	3,01	3,51	17,07	N.D.	N.D.	N.D.	0,75	N.D.	0,55	N.D.
Prata	0,05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Selênio	0,01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Sódio	200,0	259,18	289,67	1689,66	3107,44	5212,05	5175,27	2282,7	1322,92	1697,79	352,26	1114,65	303,76	985,87	72,74	826,48	43,98
Sulfato (expresso em SO4)	250,0	96,68	23,95	136,55	61,76	93,69	22,74	58,01	15,86	85,34	10,35	91,90	10,85	30,21	1,89	10,22	1,60
Surfactantes	0,5	0,955	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1,921	N.D.	0,099	0,108	0,051	N.D.	0,466	N.D.	N.D.	N.D.
Zinco	5,0	0,015	0,017	0,085	0,017	0,021	0,018	0,020	0,018	0,019	0,018	0,020	0,015	0,015	0,013	0,018	0,021
Aldrin	0,00003	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Dieldrin	0,00003	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Clordano (isômeros)	0,0002	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
DDT	0,002	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
DDD	--	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
DDE	--	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2,4-D	0,03	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Endrin	0,0006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Heptacloro	0,00003	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Heptacloro epóxido	0,00003	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Lindano	0,002	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Fenóis totais	0,01	0,0014	0,0424	0,0164	0,0355	0,0131	0,0500	0,0360	0,0374	0,0180	0,0240	0,0058	0,0432	0,0466	0,0010	0,0373	0,0004
Metoxicloro	0,02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Toxafeno	0,005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2,4,5-T	0,002	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2,4,5-TP	0,030	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Hexaclorobenzeno	0,001	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

*VMP: Valor Máximo Permitido segundo a referida norma para os ensaios de lixiviação; **N.D.: Não detectado pelo método; ***SEC: Secador; CT1: Centrífuga 1; CT2: Centrífuga 2; ****F1: Fase 1; F2: Fase 2; F3: Fase 3; ****ZAP: Zona da área de produção de óleo.

Tabela 7. Resultados das análises de pseudototais de metais pesados, nitrato e sódio, segundo a CETESB (2005) – Referência de qualidade de solo, nas amostras compostas de cascalho do poço 7-MGP-98D-BA.

	Alumínio	Antimônio	Arsênio	Bário	Boro	Cádmio	Chumbo	Cobalto	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Mercurio	Molibdênio	Níquel	Prata	Selênio	Vanádio	Zinco	Nitrato	Sódio
	mg kg ⁻¹																				
VP	-	2	15	150	-	1,3	72	25	60	75	-	-	0,5	30	30	2	5	-	300	-	-
APMax	-	5	35	300	-	3	180	35	200	150	-	-	12	50	70	25	-	-	450	-	-
Industrial	-	25	150	750	-	20	900	90	600	400	-	-	70	120	130	100	-	1000	2 000	-	-
Equipamentos	mg kg ⁻¹																				
SEC (0-570 m)F1	14192,2	N.D.	0,5	76573,0	13,6	N.D.	4,3	9,9	26,2	24,6	18073,0	291,5	N.D.	N.D.	17,7	N.D.	N.D.	25,7	26,4	13,2	4131,5
CT1 (0 -570 m)F1	5102,8	N.D.	0,7	255877,3	5,7	N.D.	10,5	4,3	10,4	12,1	8363,7	120,0	N.D.	N.D.	7,7	N.D.	N.D.	11,8	28,1	N.D.	3714,8
SEC (570 - 1127 m)F2	22923,0	N.D.	0,5	56980,6	19,3	N.D.	7,1	13,4	41,0	34,4	28077,9	420,1	N.D.	0,8	24,3	N.D.	N.D.	33,9	42,0	18,8	9059,9
CT1 (570 - 1127 m)F2	13337,2	N.D.	0,9	236656,2	11,0	0,1	18,0	7,5	26,6	23,0	18315,3	341,3	N.D.	1,5	13,2	N.D.	N.D.	22,6	52,7	20,0	12062,3
SEC (1127-1364 m)F2	23181,0	N.D.	1,6	99358,7	14,3	N.D.	7,8	12,8	38,6	32,7	26416,1	426,7	N.D.	0,6	22,3	N.D.	N.D.	35,6	42,9	33,0	23549,5
CT1 (1127-1364 m)F2	10920,1	N.D.	15,4	317396,4	8,7	N.D.	14,7	6,2	22,1	19,3	15683,4	253,4	N.D.	1,0	12,5	N.D.	N.D.	19,0	53,7	N.D.	54688,6
SEC (1364-1600 m)F2	23502,0	N.D.	0,7	40174,2	16,0	N.D.	7,5	13,6	42,3	32,7	28102,5	412,4	N.D.	1,0	24,0	N.D.	N.D.	36,4	44,2	30,4	16201,7
CT1 (1364-1600 m)F2	12733,6	N.D.	0,9	259532,2	9,8	0,1	11,7	8,0	27,1	23,5	19050,9	292,6	N.D.	1,4	14,8	N.D.	N.D.	22,6	53,0	N.D.	20481,4
SEC (1600-2176 m)F3	19872,5	N.D.	2,4	25637,4	14,6	N.D.	6,5	12,7	40,4	29,6	27759,1	359,2	N.D.	0,9	23,6	N.D.	N.D.	31,5	44,6	33,6	10912,5
CT1 (1600-2176 m)F3	11741,9	N.D.	1,4	183868,0	10,3	0,1	14,9	7,3	29,0	22,9	16462,4	256,5	N.D.	1,6	13,7	N.D.	N.D.	21,7	58,6	N.D.	21977,6
SEC (2176-2392 m)F3	22692,5	N.D.	1,5	41336,2	15,8	0,1	12,6	14,8	45,1	34,1	38396,0	383,2	N.D.	1,2	27,6	N.D.	N.D.	37,0	56,9	27,0	6997,1
CT1 (2176-2392 m)F3	12856,2	N.D.	0,8	132187,0	11,7	N.D.	26,5	8,8	36,0	34,2	20707,4	263,5	N.D.	3,2	17,0	N.D.	N.D.	23,0	106,5	N.D.	9249,8
SEC (2392-2853 m)F3	15902,0	N.D.	N.D.	33485,1	12,1	N.D.	7,9	13,0	34,2	27,4	25682,3	329,4	N.D.	0,6	23,5	N.D.	N.D.	27,3	42,0	34,4	5636,7
CT1 (2392-2853 m)F3	11613,6	N.D.	3,2	120798,7	9,5	N.D.	12,9	9,1	27,6	31,6	18391,9	283,0	N.D.	2,7	16,0	N.D.	N.D.	20,5	78,6	N.D.	15034,1
CT2 (Antes ZAP)	5092,4	N.D.	1,8	328960,3	5,2	N.D.	17,8	4,6	17,6	13,4	11332,5	146,6	N.D.	0,9	7,3	N.D.	N.D.	13,0	73,9	N.D.	8739,9
CT2 (Depois ZAP)	7662,6	0,4	19,4	345790,6	8,8	N.D.	25,7	5,8	26,8	24,2	15349,5	240,2	N.D.	2,2	11,2	N.D.	N.D.	18,0	109,7	N.D.	13666,0

* VP: Valor de prevenção. Área de prevenção máxima industrial.

* APMax: Valor de intervenção – Agrícola-Área de Prevenção Máxima.

* Industrial: Valor de intervenção industrial.

** SEC: Secador; CT1: Centrífuga 1; CT2: Centrífuga 2.

*** F1: Fase 1; F2: Fase 2; F3: Fase 3.

Tabela 8. Análises das amostras compostas do cascalho de perfuração do poço 7-MGP-98D-BA para hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.

REFERÊNCIAS		Naftaleno	Acenaftileno	Acenafteno	Fluoreno	Fenantreno	Antraceno	Fluoranteno	Pireno	Benzo[a]antraceno	Críseno	Benzo[b]fluoranteno	Benzo[k]fluoranteno	Benzo[a]pireno	Indeno[1,2,3-cd]pireno	Dibenzo[a,h]antraceno	Benzo[ghi]perileno
CONAMA 420	Referência de qualidade	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	Prevenção	0,12	na	na	na	3,3	0,039	na	na	0,025	8,1	na	0,38	0,052	0,031	0,08	0,057
	Intervenção Agrícola	30	na	na	na	15	na	na	na	9	na	na	na	0,4	2	0,15	na
	Intervenção Industrial		na	na	na		na	na	na		na	na	na				na
RESULTADOS		mg.kg ⁻¹															
	SEC (0-570 m)F1	2,080	0,204	N.D.	0,642	3,852	0,230	0,099	0,167	0,186	0,153	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	CT1 (0 -570 m)F1	2,668	0,276	N.D.	0,744	4,288	0,192	0,088	0,172	0,211	0,172	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	SEC (570 - 1127 m)F2	6,116	0,732	N.D.	1,650	13,666	0,640	0,308	0,576	0,828	0,450	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	CT1 (570 - 1127 m)F2	2,340	0,150	N.D.	0,371	2,493	0,129	0,050	0,144	0,088	0,156	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	SEC (1127-1364 m)F2	2,710	0,455	N.D.	0,942	8,196	0,266	0,185	0,360	0,512	0,241	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	CT1 (1127-1364 m)F2	1,494	0,168	N.D.	0,469	3,006	0,079	0,058	0,131	0,118	0,138	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	SEC (1364-1600 m)F2	3,170	0,525	N.D.	1,231	9,098	0,251	0,187	0,390	0,479	0,363	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	CT1 (1364-1600 m)F2	2,793	0,764	N.D.	1,011	4,150	0,201	0,065	0,285	0,173	0,221	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	SEC (1600-2176 m)F3	1,964	0,254	N.D.	0,883	7,190	0,228	0,160	0,285	0,360	0,325	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	CT1 (1600-2176 m)F3	0,576	0,183	N.D.	0,382	1,660	0,073	0,034	0,084	0,078	0,076	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	SEC (2176-2392 m)F3	3,933	1,528	N.D.	1,763	9,069	0,191	0,196	0,616	0,490	0,488	0,048	0,016	0,044	N.D.	N.D.	N.D.
	CT1 (2176-2392 m)F3	1,335	0,228	N.D.	0,514	3,041	0,154	0,081	0,152	0,169	0,185	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	SEC (2392-2853 m)F3	10,066	2,678	N.D.	4,325	19,090	0,451	0,322	0,971	1,227	0,690	0,075	0,054	0,061	N.D.	N.D.	N.D.
	CT1 (2392-2853 m)F3	1,038	0,528	N.D.	1,190	5,302	0,250	0,085	0,275	0,277	0,182	N.D.	N.D.	0,020	N.D.	N.D.	N.D.
	CT2 (Antes ZAP)	1,493	0,130	N.D.	0,293	1,686	0,103	0,036	0,076	0,061	0,077	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	CT2 (Depois ZAP)	2,314	0,396	N.D.	0,949	4,567	0,122	0,077	0,228	0,271	0,246	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

*SEC: Secador; CT1: Centrífuga 1; CT2: Centrífuga 2; * F1: Fase 1; F2: Fase 2; F3: Fase 3.

Os resultados dos hidrocarbonetos totais de petróleo são apresentados na (Tabela 9) e se mostraram altos. Independentemente, da fase de perfuração e do equipamento de recuperação de fluido utilizado.

Tabela 9. Resultados dos totais de hidrocarbonetos de petróleo (HTP) nas amostras compostas de cascalho do poço 7-MGP-98D-BA.

Hidrocarbonetos totais de petróleo (mg.kg ⁻¹)									
Referência		FASE 1			FASE 2		FASE3		
		1° Composta	2° Composta	3° Composta (Kick)	4° Composta	5° Composta	6° Composta	7° Composta	
Lista holandesa	mg.kg ⁻¹								
Valor de Referência	50	Secador	34036	67930	34577	37098	30416	39289	74902,96
Valor de Alerta	2525	Centrífuga 1	31538	23033	24046	20656	7814,4	18936	24277,32
Valor de intervenção	5000	Centrífuga 2	26330,7			42025,41			

Todas as amostras dos resíduos gerados no secador apresentaram teores de HTP mais elevados do que aqueles oriundos da centrífuga 1 (Figura 10, Figura 11, Figura 12, Figura 13, Figura 14, Figura 15 e Figura 16). A explicação para esse comportamento pode estar relacionada a interação do fluido utilizado com a rocha (o secador, dentre os 3 equipamentos utilizados para recuperar o fluido é o que contém maior volume de cascalho gerado (Tabela 1 e Tabela 2). As análises cromatográficas, representadas na distribuição normalizada dos alcanos indicam presença de compostos variando de 12 a 16 cadeias carbônicas (n-parafinas), o mesmo constituinte básico do fluido utilizado em todas as fases de perfuração do poço 7-MGP-98D-BA. Segundo Vaqueiro (2006), a n-parafina é um composto que contém cadeias de hidrocarbonos na faixa de C₁₃ A C₁₈.

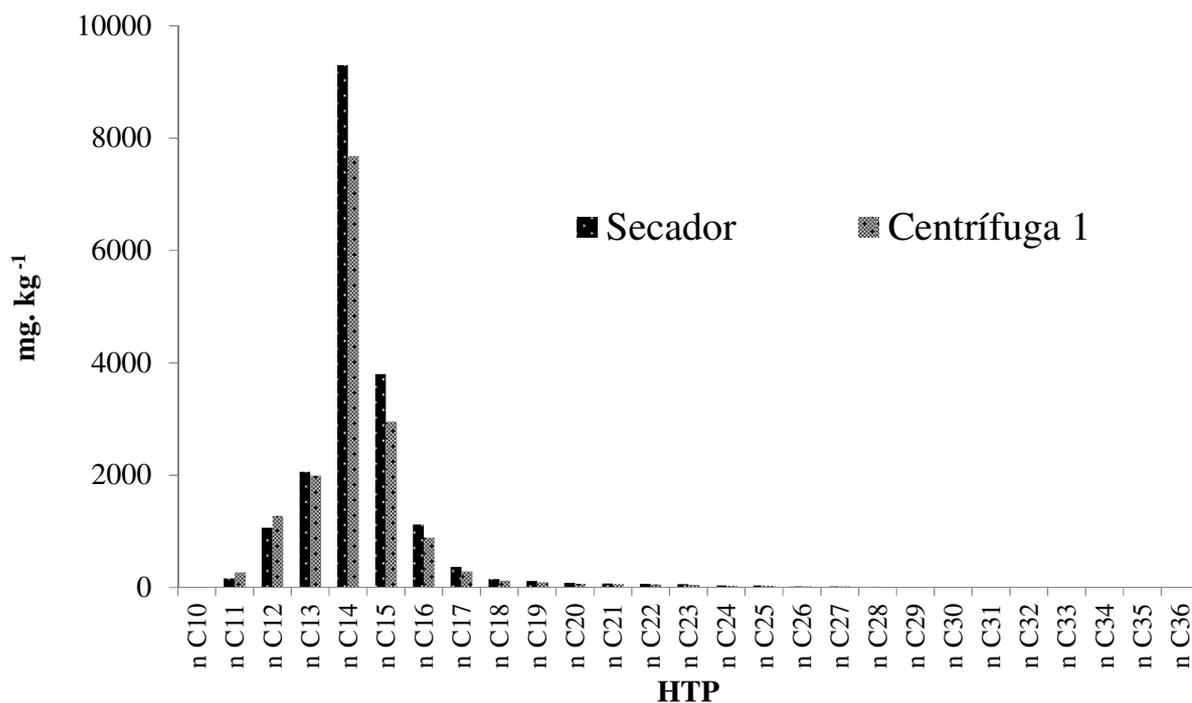


Figura 10. Relação da composição de n-alcenos da primeira composta do secador e da centrífuga do poço 7MGP-98D-BA

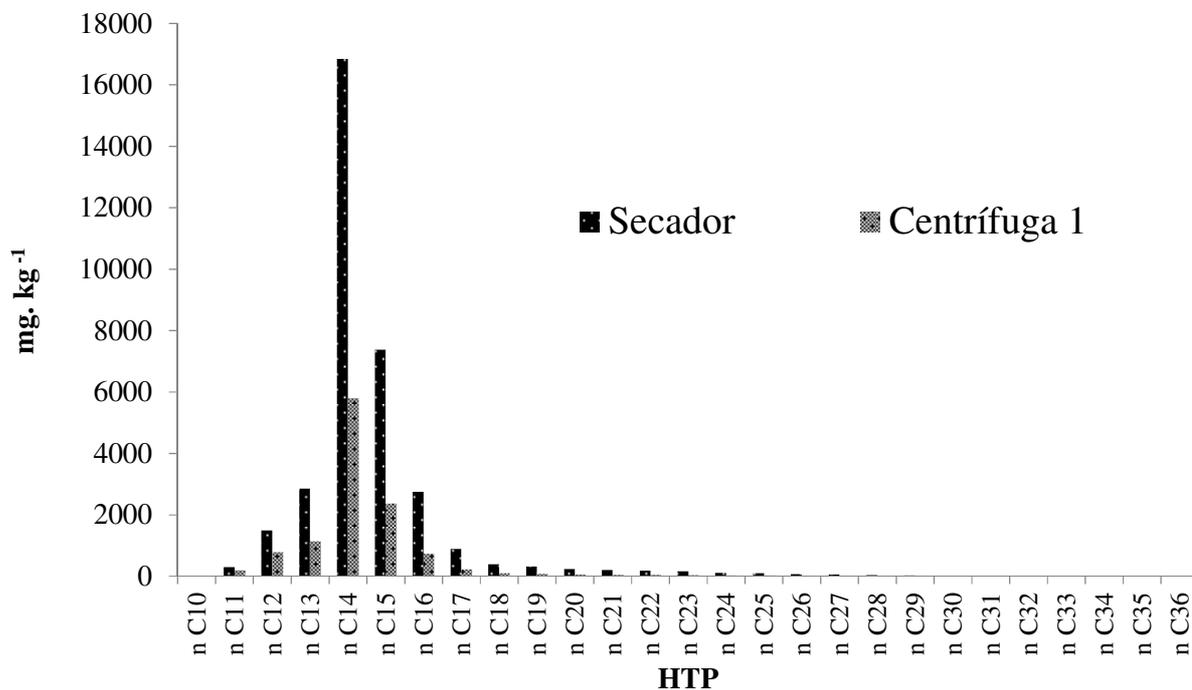


Figura 11. Relação da composição de n-alcenos da segunda composta do secador e da centrífuga do poço 7MGP-98D-BA.

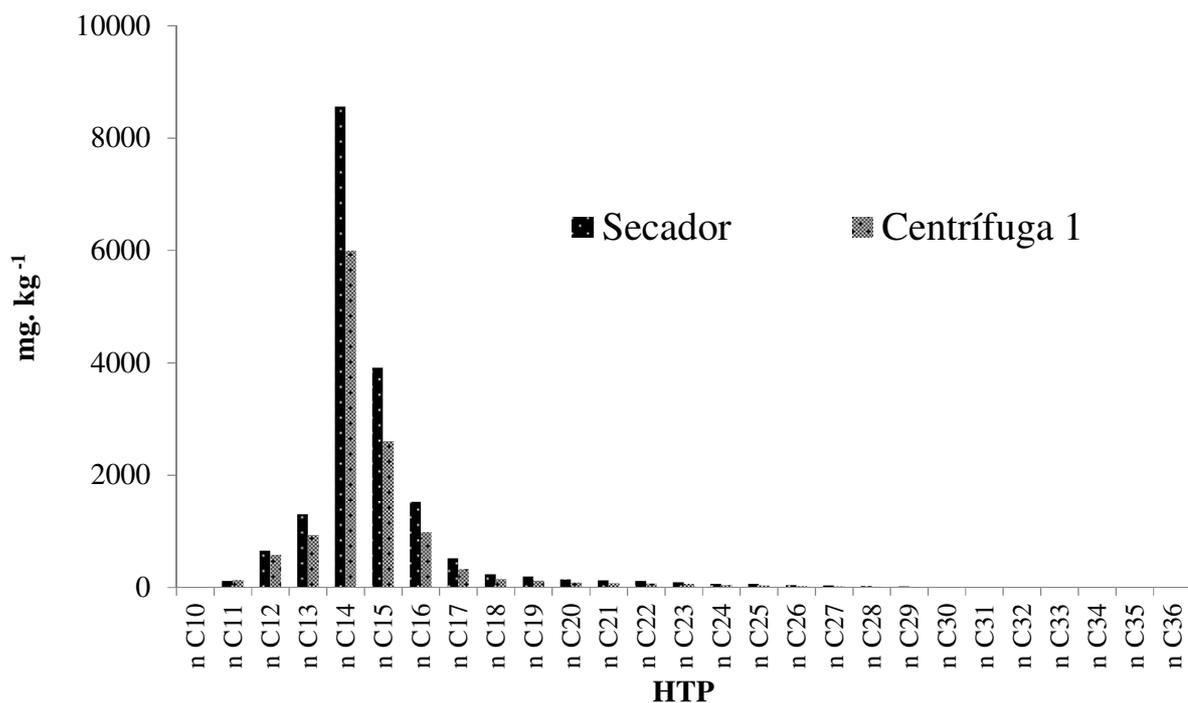


Figura 12. Relação da composição de n-alcenos da terceira composta do secador e da centrífuga do poço 7MGP-98D-BA.

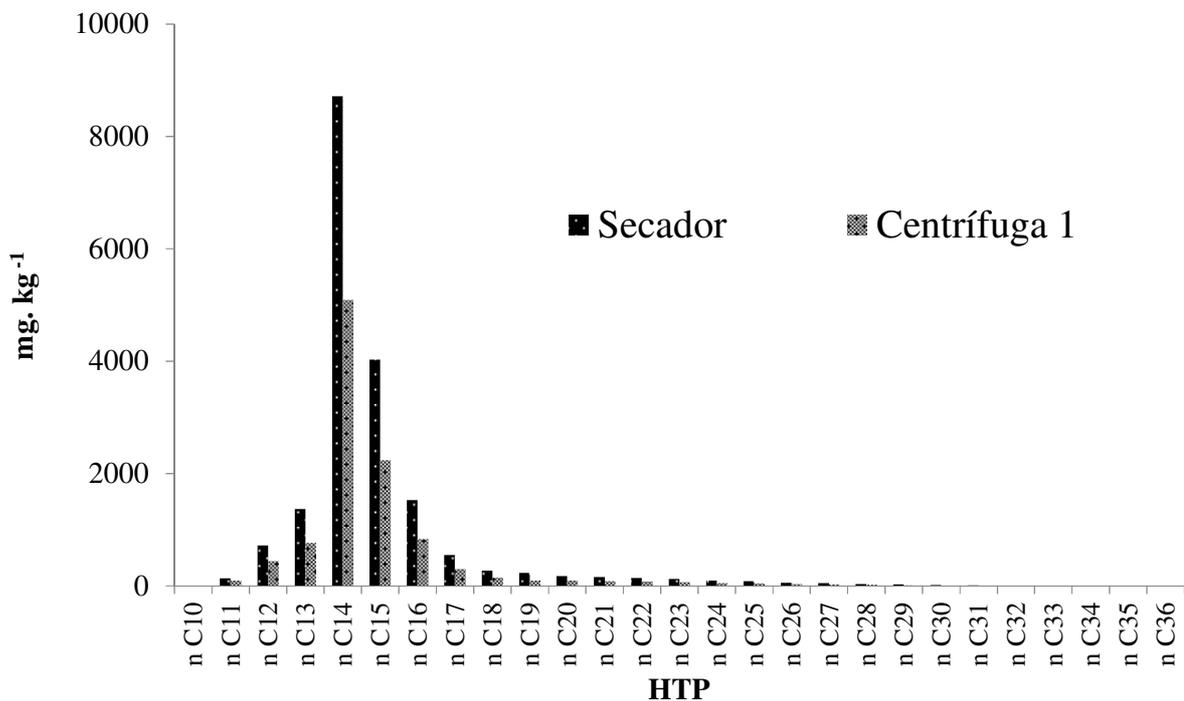


Figura 13. Relação da composição de n-alcenos da quarta composta do secador e da centrífuga do poço 7MGP-98D-BA.

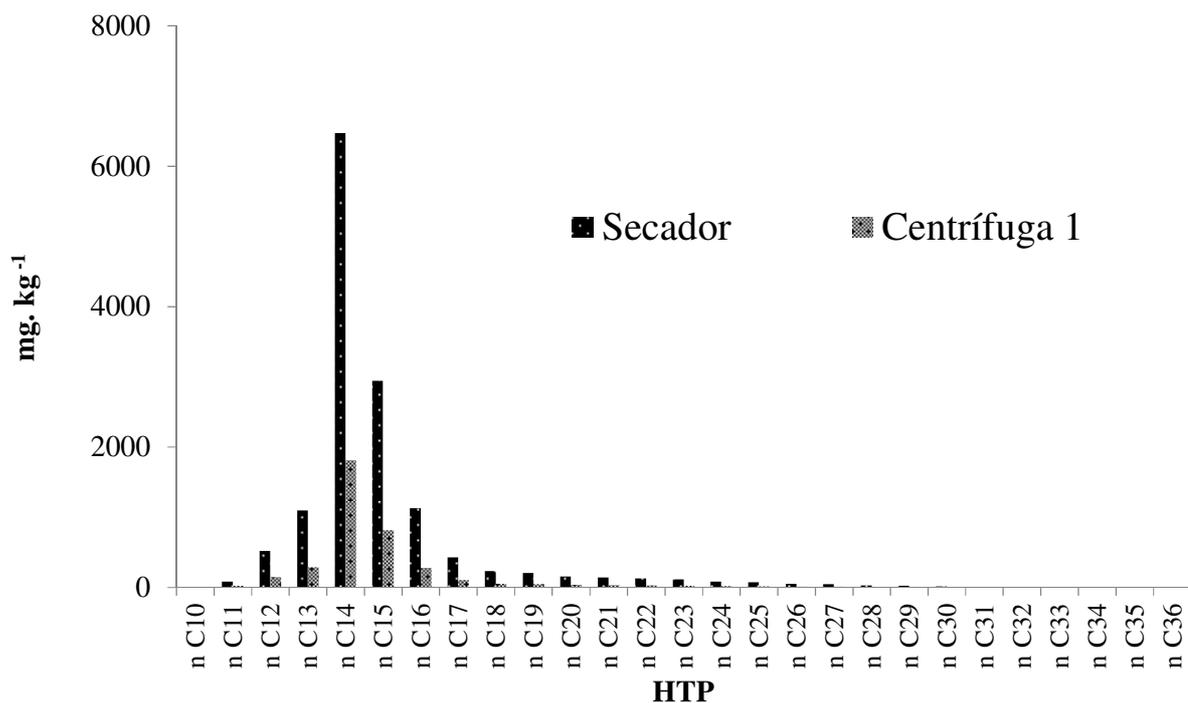


Figura 14. Relação da composição de n-alcenos da quinta composta do secador e da centrífuga do poço 7MGP-98D-BA.

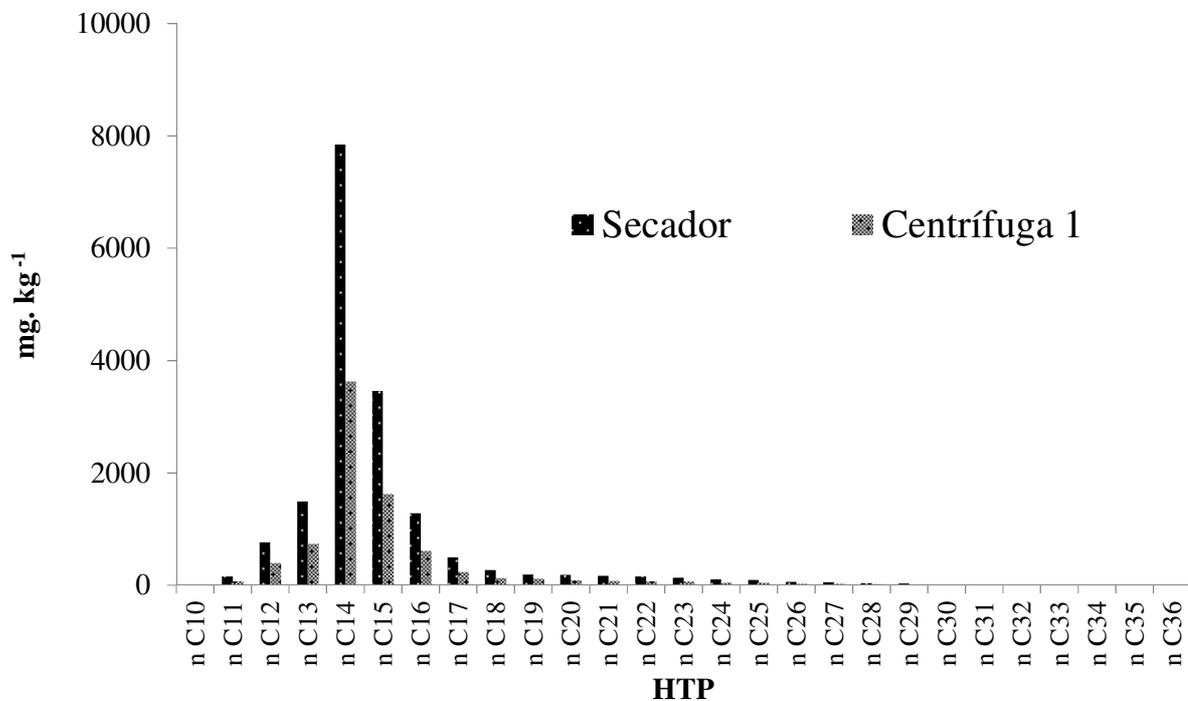


Figura 15. Relação da composição de n-alcenos da sexta composta do secador e da centrífuga do poço 7MGP-98D-BA.

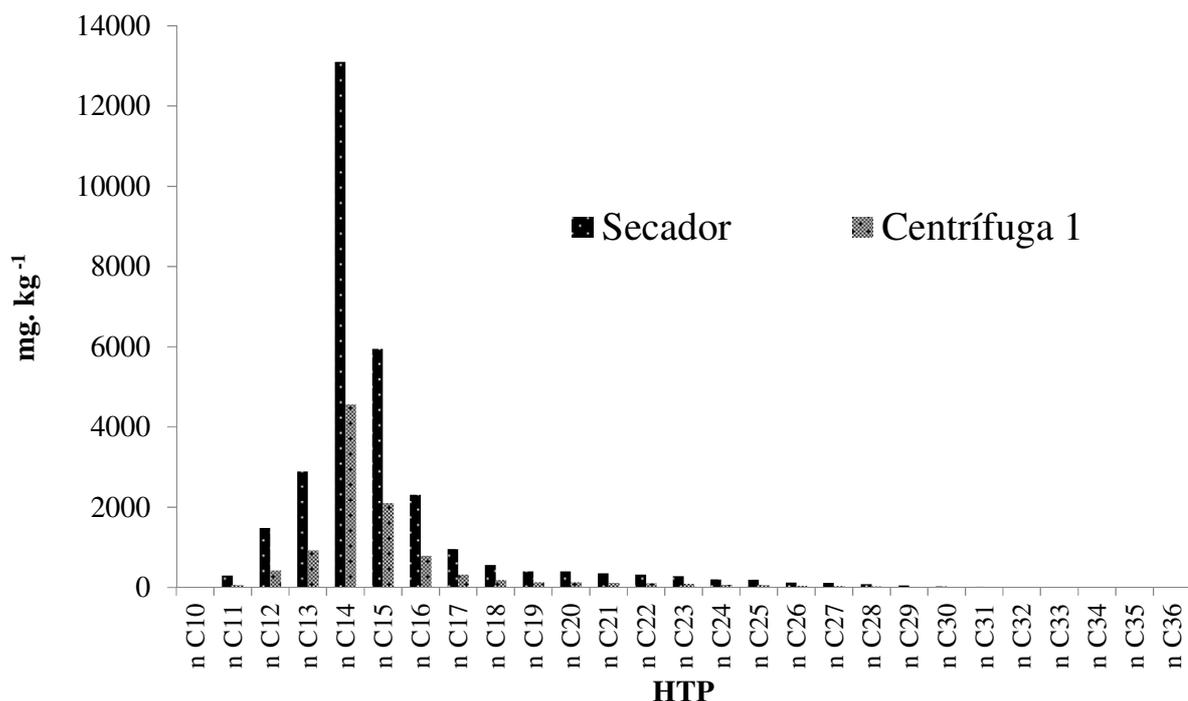


Figura 16. Relação da composição de n-alcenos da sétima composta do secador e da centrífuga do poço 7MGP-98D-BA.

Os resultados para as análises dos teores totais de macro e micro nutrientes das amostras compostas do poço 7MGP-98D-BA são apresentados na Tabela 10.

As análises de nitrogênio para todas as amostras compostas do poço 7MGP-98D-BA revelaram valores muito baixos para este elemento (Tabela 10). Como já explicado neste estudo, o equipamento que mais contém materiais inerentes aos constituintes da rocha é o secador e analisando os resultados encontrados para o elemento fósforo, somente nas amostras oriundas deste equipamento (secador), percebe-se que os teores estão extremamente baixos. O que não ocorre com o potássio, onde todas as amostras do equipamento secador apresentam valores superiores quando comparadas com o equipamento centrífugas (Tabela 10). Essa observação se repete para o magnésio, cobre, ferro e manganês. Entretanto para o cálcio e zinco há alternâncias na superioridade de valores entre os equipamentos citados (Tabela 10). Isso pode ser explicado pelos constituintes utilizados no fluido (Tabela 4).

Esses resultados estão de acordo com a literatura básica do estudo da ciência do solo e nutrição mineral de plantas que lista elementos essenciais e suas ocorrências nas rochas (Malavolta, 1980).

Tabela 10. Resultados dos totais de macronutrientes e cobre, zinco, ferro e manganês nas amostras compostas de cascalho de perfuração do poço 7-MGP-98D-BA.

Equipamentos	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Cobre	Zinco	Ferro	Manganês
	mg kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			
SEC (0-570 m)F1	0,02	0,05	5,23	1,48	12,29	35,71	47,25	28005,96	447,62
CT1 (0 -570 m)F1	0,01	0,00	2,09	2,53	4,67	12,49	39,86	10749,54	152,63
SEC (570 - 1127 m)F2	0,05	0,00	11,34	6,11	14,12	49,79	68,65	48013,51	585,64
CT1 (570 - 1127 m)F2	0,02	0,66	3,90	8,47	9,83	36,20	65,87	34256,02	456,01
SEC (1127-1364 m)F2	0,04	0,06	9,09	7,65	12,43	44,96	71,26	40440,78	670,44
CT1 (1127-1364 m)F2	0,01	0,36	3,46	6,87	8,96	30,42	99,56	27835,84	411,66
SEC (1364-1600 m)F2	0,03	0,06	13,20	5,17	12,14	55,09	81,87	49384,46	681,71
CT1 (1364-1600 m)F2	0,05	0,24	4,31	9,63	9,63	35,12	94,56	31700,19	467,22
SEC (1600-2176 m)F3	0,05	0,00	14,32	3,10	11,62	48,04	74,79	41370,56	599,11
CT1 (1600-2176 m)F3	0,02	0,23	4,57	6,97	9,53	34,23	93,80	23768,67	410,36
SEC (2176-2392 m)F3	0,05	0,20	8,26	6,09	21,16	55,25	100,76	46888,69	566,50
CT1 (2176-2392 m)F3	0,04	0,34	5,28	9,38	10,92	43,78	210,29	33607,17	433,01
SEC (2392-2853 m)F3	0,05	0,00	7,18	3,21	9,73	35,06	63,83	29456,01	475,81
CT1 (2392-2853 m)F3	0,03	0,00	6,66	13,79	6,26	35,78	137,48	18525,26	426,06
CT2 (Antes ZAP)	0,00	0,07	4,04	7,77	5,16	20,69	115,03	21358,17	218,94
CT2 (Depois ZAP)	0,02	0,49	4,02	18,43	8,26	30,93	248,04	21081,42	334,50

*SEC: Secador; CT1: Centrífuga 1; CT2: Centrífuga 2. * F1: Fase 1; F2: Fase 2; F3: Fase 3.

Na Tabela 11 são mostrados os valores dos teores disponíveis de cada uma das amostras do poço 7MGP98DBA. Os dados apresentados já contem a separação dos diferentes equipamentos e suas sequências em profundidade para melhor avaliação.

Tabela 11. Resultados dos teores disponíveis nas amostras compostas de cascalho de perfuração do poço 7-MGP-98D-BA.

Composta	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	m	n	pH _{água}	Corg	P	K	Na	PST
	Cmol _c / dm ³											1:2,5	%	mg/L			
BA 1S	0,4	2,2	0,5	0,04	0	0	3,2	3,2	100	0	13,3	8,3	47,0	106	14	96	13,3
BA 2S	2,6	2,2	0,3	0,04	0	0	5,2	5,2	100	0	50,8	8,6	48,6	9	16	602	50,8
BA 3S	4,0	2,0	0,1	0,07	0	0	6,1	6,1	100	0	64,5	9,7	44,0	4	29	909	64,5
BA 4S	3,0	1,6	0,3	0,07	0	0	4,9	4,9	100	0	59,9	8,7	55,0	10	29	679	59,9
BA 5S	2,4	1,7	0,2	0,09	0	0	4,4	4,4	100	0	54,9	8,7	44,0	17	34	556	54,9
BA 6S	2,1	1,5	0,3	0,09	0	0	4,0	4,0	100	0	52,6	8,8	42,5	2	35	483	52,6
BA 7S	1,7	1,3	0,2	0,10	0	0	3,3	3,3	100	0	51,1	8,7	43,3	31	38	385	51,1
BA 1C1	0,6	1,4	0,2	0,05	0	0	2,2	2,2	100	0	25,0	9,4	23,1	54	21	126	25,0
BA 2C1	3,7	2,3	0,1	0,04	0	0	6,1	6,1	100	0	60,0	10,3	40,3	1	17	843	60,0
BA 3C1	44,4	1,5	0,3	0,05	0	0	46,2	46,2	100	0	96,0	9,8	38,8	1	20	10204	96,0
BA 4C1	4,0	1,7	0,4	0,05	0	0	6,2	6,2	100	0	65,2	10,2	37,2	0	21	928	65,2
BA 5C1	4,4	1,5	0,1	0,07	0	0	6,1	6,1	100	0	72,5	9,9	55,2	1	27	1012	72,5
BA 6C1	3,3	1,5	0,5	0,06	0	0	5,3	5,3	100	0	61,4	9,8	57,0	1	25	755	61,4
BA 7C1	7,5	1,5	0,4	0,09	0	0	9,5	9,5	100	0	79,0	10,1	49,3	0	34	1720	79,0
BA 1C2	2,1	1,7	0,7	0,03	0	0	4,5	4,5	100	0	45,8	11,5	24,5	32	10	472	45,8
BA 2C2	6,3	1,4	0,2	0,05	0	0	7,9	7,9	100	0	79,2	11,8	64,4	1	19	1443	79,2

*S: Amostras oriundas do secador; C1: Amostras oriundas da centrífuga 1; C2: Amostras oriundas da centrífuga 2.

Como já explicado, este capítulo trata da caracterização química dos cascalhos para melhor entendimento e possível separação destes materiais para testes nas propriedades física e químicas dos solos bem como no crescimento vegetal, portanto será dada ênfase na discussão dos resultados encontrados para as análises do equipamento secador. A soma de bases trocáveis dessas amostras se mostra alta, devido principalmente a presença de elementos como o sódio e o cálcio (Tabela 11). Isso reflete diretamente nos valores encontrados para o alumínio. Rigorosamente todas as amostras analisadas não apresentaram alumínio tóxico em sua constituição o que já seria um fator interessante para o uso desse material como corretivo da acidez do solo. Obviamente outras questões e elementos precisam ser mais bem observados e será objeto de estudo nas fases subsequentes desse estudo.

- Poço 7-SMC-50D-AL

Os resultados da caracterização dos cascalhos de perfuração oriundos do Poço 7-SMC 50-D AL – a partir de amostras compostas (Figura 7) e (Figura 8), segundo a NBR 10004:2004, tendo como prescrições a NBR 10005:2004 e a NBR 10006:2004, são mostrados na Tabela 12 (Ensaio de lixiviação) e na Tabela 13 (Ensaio de solubilização).

Conforme discussão anterior, a lixiviação, no texto da NBR 10005:2004, é definida como sendo o processo que determina a capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no extrator. Quando excedido o limite de concentração no extrato da lixiviação, o resíduo é classificado como perigoso – anexo F da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004). Em relação a estes ensaios, descritos para as amostras de cascalhos avaliadas (Tabela 12), todos os valores se mostraram adequados aos limites estabelecidos para a caracterização quanto à toxicidade. Logo, os resíduos oriundos do poço 7-SMC-50D-AL são também classificados, pela norma ABNT/NBR 10004:2004, como Resíduos Classe II: Não Perigosos.

Entretanto, observando a Tabela 13, verifica-se que as análises do ensaio de Solubilização (Norma - NBR 10006) para as 15 amostras compostas do poço 7SMC-50D-AL mostraram que os teores de arsênio, alumínio, bário, chumbo, cloreto, ferro, manganês, surfactantes e fenóis totais ultrapassaram seus respectivos Valores Máximos Permitidos em uma ou outra amostra analisada. Assim, os resultados mostram que, de acordo com a NBR 10004:2004, os cascalhos gerados no Poço 7-SMC-50-D AL, se enquadram à classe de resíduo sólido NÃO PERIGOSO NÃO INERTE (CLASSE IIA).

LIXIVIADO	VMP	SEC (0-255 m)F1	MC (0 -255 m)F1	SEC (255 - 543 m)F2	MC (255 - 543 m)F2	SEC (543-943 m)F2	MC (543 - 831 m)F2	SEC (943 -1303 m)F3	SEC (1303-1447 m)F3	SEC (1447-1700 m)F3	CT1 F1	CT 1 F2	CT1 F3	CT 2 F1	CT2 F2	CT2 F3	Resultados obtidos (mg. L ⁻¹)					
Inorgânico																						
Benzeno	0,5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
Benzo(a)pireno	0,07	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
Cloreto de vinila	0,5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
Clorobenzeno	100	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
Clorofórmio	6,0	0,021	0,015	0,004	0,02	0,012	0,007	0,019	0,015	0,016	0,007	0,006	0,006	0,008	0,007	0,007						
Cresol total	200,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0003	N.D.	N.D.	0,0009						
o-cresol	200,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0003						
m-cresol	200,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0004						
p-cresol	200,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0003	N.D.	N.D.	0,0002						
1,4-diclorobenzeno	7,5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
1,2-dicloroetano	1,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
1,1-dicloroetileno	3,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
2,4-dinitrotolueno	0,13	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
Hexaclorobenzeno	0,1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
Hexaclorobutadieno	0,5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
Hexacloroetano	3,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
Metiltilcetona	200,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
Nitrobenzeno	2,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
Piridina	5,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
Tetracloro de carbono	0,2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
Tetracloroetileno	4,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
Tricloroetileno	7,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
2,4,5-triclorofenol	400,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
2,4,6-triclorofenol	20,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						

*VMP: Valor máximo permitido

**N.D. Não detectado

Tabela 13. Resultados de análises NBR 10006:2004 – Ensaio de solubilização nas amostras compostas de cascalho do poço 7-SMC 50D AL.

SOLUBILIZADO	VMP	SEC (0-255 m)F1	MC (0 -255 m)F1	SEC (255 - 543 m)F2	MC (255 - 543 m)F2	SEC (543-943 m)F2	MC (543 - 831 m)F2	SEC (943 -1303 m)F3	SEC (1303-1447 m)F3	SEC (1447-1700 m)F3	CT1 F1	CT 1 F2	CT1 F3	CT 2 F1	CT2 F2	CT2 F3	Resultados obtidos (mg . L ⁻¹)									
Inorgânico																										
Arsênio	0,010	N.D.	0,014	0,019	0,024	0,012	0,02	0,009	0,012	0,006	N.D.	0,008	N.D.	N.D.	0,062	N.D.										
Alumínio	0,20	0,503	0,743	2,19	4,656	3,736	5,248	0,078	0,069	0,127	0,596	5,435	1,04	0,51	7,182	0,39										
Bário	0,7	0,088	0,514	0,123	0,096	0,137	1,533	0,319	0,139	0,186	0,293	1,388	0,249	0,061	0,539	0,124										
Cádmio	0,005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,001	N.D.	N.D.	N.D.	0,001	N.D.	N.D.										
Chumbo	0,01	N.D.	0,012	0,014	0,019	0,019	0,014	0,01	N.D.	0,015	0,013	0,015	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.										
Cianeto	0,07	N.D.	N.D.	0,009	0,014	0,038	N.D.	0,021	0,014	0,041	N.D.	N.D.	0,022	N.D.	N.D.	N.D.										
Cloreto	250,0	116,43	294,69	115,96	22,95	19,23	24,13	1503,78	3057,1	2566,08	19,25	17,5	1914,2	17,64	18,75	537,36										
Cobre	2,0	N.D.	N.D.	0,008	0,014	0,014	0,05	0,019	0,124	0,067	0,009	0,027	0,151	N.D.	0,033	0,062										
Cromo total	0,05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,013	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,012	N.D.	N.D.	0,014	N.D.										
Ferro	0,3	0,262	0,305	N.D.	2,312	5,321	18,318	0,051	0,071	0,104	0,234	15,353	N.D.	0,341	15,554	N.D.										
Fluoreto	1,5	0,263	0,406	0,446	0,738	0,544	0,297	0,162	0,081	0,122	0,264	0,386	N.D.	0,333	0,531	N.D.										
Manganês	0,1	0,038	0,046	N.D.	0,075	0,147	0,489	N.D.	N.D.	N.D.	0,011	0,327	N.D.	0,053	0,272	N.D.										
Merúrio	0,001	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.										
Nitrato (expresso em N)	10,0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.										
Prata	0,05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.										
Selênio	0,01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.										
Sódio	200,0	68,426	74,945	73,593	82,333	76,675	83,309	58,326	54,723	52,538	39,863	67,6	51,944	60,908	69,587	69,541										
Sulfato (expresso em SO4)	250,0	73,22	2,56	58,28	140,19	224,96	13,92	126,26	182,73	173,88	10,59	12,62	52,95	100,78	73,54	25,61										

SOLUBILIZADO	VMP	SEC (0-255 m)F1	MC (0 -255 m)F1	SEC (255 - 543 m)F2	MC (255 - 543 m)F2	SEC (543-943 m)F2	MC (543 - 831 m)F2	SEC (943 -1303 m)F3	SEC (1303-1447 m)F3	SEC (1447-1700 m)F3	Resultados obtidos (mg . L ⁻¹)						
											CT1 F1	CT 1 F2	CT1 F3	CT 2 F1	CT2 F2	CT2 F3	
Inorgânico												Resultados obtidos (mg . L ⁻¹)					
Surfactantes	0,5	0,122	0,244	0,079	0,098	0,158	0,109	0,434	2,366	5,437	0,12	0,33	6,07	N.D.	N.D.	0,39	
Zinco	5,0	N.D.	N.D.	N.D.	0,023	0,055	0,768	N.D.	0,012	N.D.	0,03	0,178	N.D.	N.D.	0,163	N.D.	
Aldrin	0,00003	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Dieldrin	0,00003	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Clordano (isômeros)	0,0002	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
DDT	0,002	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
DDD	--	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
DDE	--	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
2,4-D	0,03	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Endrin	0,0006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Heptacloro	0,00003	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Heptacloro epóxido	0,00003	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Lindano	0,002	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Fenóis totais	0,01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0007	0,0005	N.D.	N.D.	0,0045	N.D.	0,05	0,0083	
Metoxicloro	0,02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Toxafeno	0,005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
2,4,5-T	0,002	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
2,4,5-TP	0,030	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Hexaclorobenzeno	0,001	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	

*VMP: Valor máximo permitido; ** N.D.: Não detectado pelo método.

A Tabela 14 mostra os resultados encontrados para as análises de pseudototais de metais pesados, nitrato e sódio. Os resultados encontrados para as análises do poço coletado em Alagoas mostra outra vez uma direta relação de elementos mais abundantes na crosta terrestre com o equipamento secador. Isso fica evidente para elementos como o ferro e o alumínio principalmente (Tabela 14). Após análises dos dados apresentados até aqui, pode-se afirmar que os resíduos gerados no poço 7-MGP98-D BA e no poço 7-SMC-50D-AL, são classificados como NÃO PERIGOSOS NÃO INERTES (CLASSE IIA). Porém vale ressaltar que ocorreram diferenças nos parâmetros que levaram a essa classificação, fundamentalmente em função dos equipamentos utilizados para recuperação do fluido de perfuração.

Os resultados dos teores pseudototais de metais pesados e sódio para o poço 7-MGP98-D BA, mostram claramente a influência de grupos distintos de elementos nos diferentes equipamentos. Alumínio, cobre, ferro e manganês estão associados aos constituintes da rocha, e foram encontrados, em maiores teores, nas amostras coletadas no secador (equipamento que gera resíduo com maior influência da rocha que do fluido). Por outro lado elementos como arsênio, bário, chumbo, zinco e sódio foram encontrados em maiores valores nos resíduos gerados pelas centrífugas, indicando haver maior influência do fluido utilizado (Tabela 7). Pode-se observar que elementos que possuem grande potencial de contaminação ambiental, como arsênio, bário, chumbo e sódio, apresentam-se em maiores concentrações nos resíduos gerados nas centrífugas. Enquanto que elementos promissores são encontrados em maiores teores nos resíduos gerados pelo secador de cascalho (Tabela 7). Outra informação importante é que arsênio, bário e sódio apresentaram maiores teores nos resíduos provenientes das centrífugas nas amostras referentes à profundidade em que o fluido teve sua densidade aumentada. Esses resultados reforçam a necessidade da separação dos resíduos gerados nos diferentes equipamentos, principalmente daqueles gerados pelas centrífugas do sistema.

Em relação ao poço 7-SMC-50D-AL, apesar da maior dificuldade de se relacionar os resultados obtidos nos diferentes equipamentos utilizados para recuperar o fluido na Sonda SC-82, é possível verificar a maior influência da rocha em amostras do secador e do “*Mud Cleaner*”, exemplificados nesse caso pela presença de elementos como alumínio, ferro e manganês (Tabela 14). Os resultados dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) se encontram na Tabela 15.

Tabela 14. Resultados das análises de pseudototais de metais pesados, nitrato e sódio, segundo a CETESB (2005) – Referência de qualidade, nas amostras compostas de cascalho do poço 7-SMC-50D-AL.

	Alumínio	Antimônio	Arsênio	Bário	Boro	Cádmio	Chumbo	Cobalto	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Mercurio	Molibdênio	Níquel	Prata	Selênio	Vanádio	Zinco	Nitrato	Sódio
	mg kg ⁻¹																				
VP	-	2	15	150	-	1,3	72	25	60	75	-	-	0,5	30	30	2	5	-	300	-	-
APMax	-	5	35	300	-	3	180	35	200	150	-	-	12	50	70	25	-	-	450	-	-
Industrial	-	25	150	750	-	20	900	90	600	400	-	-	70	120	130	100	-	1000	2 000	-	-
	mg kg ⁻¹																				
Equipamentos																					
SEC (0-255 m)F1	6691,1	N.D.	72,0	68300	3,6	N.D.	7,4	4,5	23,2	12,1	10260,4	213,7	N.D.	1,2	9,3	N.D.	0,5	20,8	31,0	N.D.	439,9
MC (0 -255 m)F1	7018,8	0,4	126,7	39200	3,1	0,1	20,2	5,5	18,7	17,8	12277,2	220,6	0,7	1,7	11,0	N.D.	0,6	26,3	37,2	N.D.	2055,9
SEC (255 - 543 m)F2	5495,6	0,4	166,4	48800	2,8	N.D.	6,3	3,7	19,2	9,9	8426,3	177,9	0,1	0,9	7,7	N.D.	0,5	17,0	25,6	57,1	1495,5
MC (255 - 543 m)F2	5415,4	0,9	93,8	50000	1,8	N.D.	148,4	4,6	32,4	11,7	9674,1	184,6	0,1	0,9	8,4	N.D.	0,5	16,9	103,3	12,5	1251,9
SEC (543-943 m)F2	2689,5	N.D.	20,6	54000	2,1	N.D.	5,4	3,3	8,8	10,7	7270,5	318,9	N.D.	0,7	6,4	N.D.	0,4	8,5	20,5	192,9	973,7
MC (543 - 831 m)F2	2825,1	N.D.	1,6	48900	1,6	N.D.	7,3	3,1	10,5	8,7	6952,9	162,3	N.D.	1,1	5,5	N.D.	0,5	10,6	37,6	N.D.	1163,2
SEC (943 -1303 m)F3	7874,5	N.D.	16,7	80900	3,5	N.D.	8,0	6,4	13,2	15,8	13784,0	244,1	0,5	N.D.	12,3	N.D.	N.D.	14,2	34,5	N.D.	4167,5
SEC (1303-1447 m)F3	7772,3	N.D.	17,8	96100	4,0	N.D.	6,9	6,5	14,7	13,7	13369,2	214,2	N.D.	N.D.	11,6	N.D.	N.D.	12,5	35,0	11,2	8809,2
SEC (1447-1700 m)F3	8477,3	N.D.	50,7	65800	4,2	N.D.	10,1	7,5	18,6	17,6	17133,9	312,2	N.D.	N.D.	14,2	N.D.	N.D.	17,8	40,7	26,9	8650,7
CT1 F1	1362,0	N.D.	1,7	73400	N.D.	N.D.	23,0	1,1	9,8	11,7	10240,0	19,1	N.D.	1,0	3,5	N.D.	N.D.	51,0	20,3	N.D.	449,9
CT 1 F2	3052,3	N.D.	2,5	55400	1,3	N.D.	5,4	3,5	21,3	9,3	8142,3	199,4	N.D.	1,0	8,8	N.D.	N.D.	11,0	39,0	N.D.	992,4
CT1 F3	1824,1	N.D.	3,5	291200	1,9	N.D.	9,9	2,3	8,3	9,2	5731,7	121,3	N.D.	0,6	4,4	N.D.	0,5	5,9	31,8	N.D.	5315,2
CT 2 F1	6309,3	N.D.	121,3	58300	1,2	N.D.	11,6	5,2	19,3	14,6	12967,1	256,5	N.D.	1,0	9,5	N.D.	0,5	26,5	40,1	N.D.	873,2
CT2 F2	5384,1	N.D.	3,6	98700	3,0	N.D.	6,9	4,2	15,9	10,7	9424,6	220,4	N.D.	0,8	7,7	N.D.	N.D.	13,7	38,7	N.D.	1597,8
CT2 F3	1781,8	0,4	2,5	333600	4,3	N.D.	29,6	2,2	11,9	14,0	9120,5	120,6	N.D.	1,3	5,1	N.D.	0,3	8,6	83,9	N.D.	3943,5

*VP: Valor de prevenção; APMax: Área de Prevenção Máxima; Industrial: Valor de intervenção industrial; SEC: Secador; CT1: Centrífuga 1; CT2: Centrífuga 2. MC: Mud Cleaner; F1: Fase 1; F2: Fase 2; F3: Fase 3.

Tabela 15. Análises das amostras compostas do poço 7SMC-50D-AL para hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.

REFERÊNCIAS		Naftaleno	Acenaftileno	Acenafteno	Fluoreno	Fenantreno	Antraceno	Fluoranteno	Pireno	Benzo[a]antraceno	Criseno	Benzo[b]fluoranteno	Benzo[k]fluoranteno	Benzo[a]pireno	Indeno[1,2,3-cd]pireno	Dibenzo[a,h]antraceno	Benzo[ghi]perileno	
CONAMA	Referência de qualidade	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	
	Prevenção	0,12	na	na	na	3,3	0,039	na	na	0,025	8,1	na	0,38	0,052	0,031	0,08	0,057	
	Intervenção Agrícola	30	na	na	na	15	na	na	na	9	na	na	na	0,4	2	0,15	na	
	Intervenção Industrial		na	na	na		na	na	na		na	na	na				na	
RESULTADOS		mg.kg ⁻¹																
	SEC (0-255 m)F1	0,013	N.D.	N.D.	0,004	0,006	N.D.	0,0028	0,0042	0,0012	0,0058	0,0018	N.D.	0,0018	N.D.	N.D.	N.D.	
	MC (0 -255 m)F1	0,514	0,243	N.D.	0,102	0,224	0,0081	0,0094	0,0311	0,0322	0,0171	0,0074	0,0055	0,0036	N.D.	N.D.	0,0031	
	SEC (255 - 543 m)F2	0,133	0,006	0,0032	0,004	0,129	0,0067	0,0026	0,0042	0,0133	0,0131	0,0023	0,0029	0,0026	N.D.	N.D.	N.D.	
	MC (255 - 543 m)F2	0,095	0,005	0,0044	0,005	0,104	N.D.	0,0032	0,0043	0,010	0,0092	0,0022	0,0013	0,0014	N.D.	N.D.	N.D.	
	SEC (543-943 m)F2	0,038	0,004	0,0032	0,007	0,134	0,0086	0,0039	0,0054	0,036	0,0173	0,0037	0,002	0,0022	N.D.	N.D.	N.D.	
	MC (543 - 831 m)F2	0,016	0,002	0,0014	0,003	0,035	0,002	0,001	0,0013	0,0074	0,0068	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	SEC (943 -1303 m)F3	0,251	0,405	N.D.	0,261	0,435	0,0259	0,0013	N.D.	0,0808	0,0034	N.D.	N.D.	0,0064	0,0016	N.D.	0,0062	
	SEC (1303-1447 m)F3	1,071	0,707	N.D.	0,609	0,732	0,0661	N.D.	0,1039	N.D.	0,0774	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	SEC (1447-1700 m)F3	0,329	0,529	N.D.	0,176	1,602	0,1005	0,0577	0,2417	0,0433	0,1879	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	CT1 F1	0,003	N.D.	N.D.	N.D.	0,006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	CT 1 F2	0,034	0,003	0,0018	0,004	0,070	0,0035	0,0014	0,0016	0,0146	0,0049	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	CT1 F3	0,293	N.D.	N.D.	N.D.	0,315	0,0355	0,0217	0,0792	0,020	0,0486	0,0183	0,0243	0,0175	0,0161	0,0164	0,0169	
	CT 2 F1	0,014	0,0018	N.D.	0,002	0,029	N.D.	0,001	0,0037	0,0043	0,0046	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	CT2 F2	0,004	N.D.	N.D.	0,001	0,010	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	CT2 F3	0,558	N.D.	N.D.	0,394	0,763	0,03	0,0164	0,0394	0,0522	0,0751	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	

* SEC: Secador; CT1: Centrífuga 1; CT2: Centrífuga 2. MC: Mud Cleaner; F1: Fase 1; F2: Fase 2; F3: Fase 3.

A Tabela 16 mostra os resultados encontrados para os hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) nas amostras compostas do poço de Alagoas (7-SMC-50D-AL). É preciso salientar que o poço em questão só fez uso de fluido de base orgânica na sua terceira fase.

Tabela 16. Análises de totais de hidrocarbonetos de petróleo (HTP) nas amostras compostas do poço 7-SMC-50D-AL.

Referência		Hidrocarbonetos totais de petróleo (mg.kg ⁻¹)						
		FASE 1		FASE 2		FASE3		
		1° Composta	2° Composta	3° Composta	4° Composta	5° Composta	6° Composta	
Lista holandesa	mg.kg ⁻¹							
Valor de Referência	50	Secador	721,01	323,46	285,8	34865	147,75	41938
Valor de Alerta	2525	Mud cleaner	110,23	329,56	108,65	-	-	-
Valor de intervenção	5000	Centrífuga 1	524,16	146,11		39499		
		Centrífuga 2	262,67	24,33		20357		

A Figura 17 apresenta as comparações entre os equipamentos que tiveram correlação na profundidade do poço (Secador e *Mud Cleaner*), para reforçar as diferenças na composição dos resíduos gerados, em função dos hidrocarbonetos totais de petróleo encontrados.

É importante ressaltar que os gráficos mostram os valores do secador e do “*mud cleaner*” em uma fase da perfuração onde não foi utilizado o fluido de base orgânica e, por isso mesmo, os valores mostrados estão baixos.

Os maiores teores de hidrocarbonetos, encontrados no equipamento secador, podem estar associados ao fluido de perfuração utilizado - a cromatografia gasosa indica presença de cadeias de carbono C₁₂ a C₁₆ – ou seja, n-parafinas (Figuras 10 a 16) e reforçam ainda mais, maior ligação do cascalho oriundo do equipamento secador com a rocha atravessada, uma vez que os maiores volumes de cascalho provem desse equipamento (Tabela 1 e 2) e, é justamente o fluido de perfuração o responsável por trazer à superfície, esse material. O resultado encontrado na Figura 17 corrobora esse raciocínio, já discutido anteriormente.

A Tabela 17 mostra os resultados obtidos para as análises dos totais de macronutrientes e cobre, zinco, ferro e manganês nas amostras compostas do poço 7SMC-50-D-AL. Apesar da dificuldade em correlacionar profundidade alcançada no poço com os diferentes equipamentos de recuperação de fluido nesse poço, os resultados encontrados seguem o mesmo raciocínio da discussão do poço coletado no estado da Bahia, em que elementos mais presentes na rocha são também encontrados no equipamento secador, são eles o potássio, o magnésio e o ferro (Tabela 17).

A Tabela 18 apresenta os resultados para as análises dos teores trocáveis nas amostras compostas do poço 7SMC-50-D-AL. Seguindo a linha de interpretação dos dados do poço estudado na Bahia, a tabela 18 também apresenta, em seus valores, a junção dos equipamentos utilizados na sonda que perfurou o poço nas Alagoas. Mais uma vez será dada ênfase nos resultados obtidos para o equipamento que mostrou conter mais elementos inerentes a constituição das rochas encontradas nos locais.

Observando a Tabela 18 é possível verificar que os resultados para a soma de bases trocáveis nas amostras do equipamento secador, foram elevados principalmente em função da presença de sódio e cálcio. Mais uma vez, assim como no poço coletado na Bahia, essas amostras coletadas no poço de Alagoas não apresentaram alumínio tóxico em suas análises.

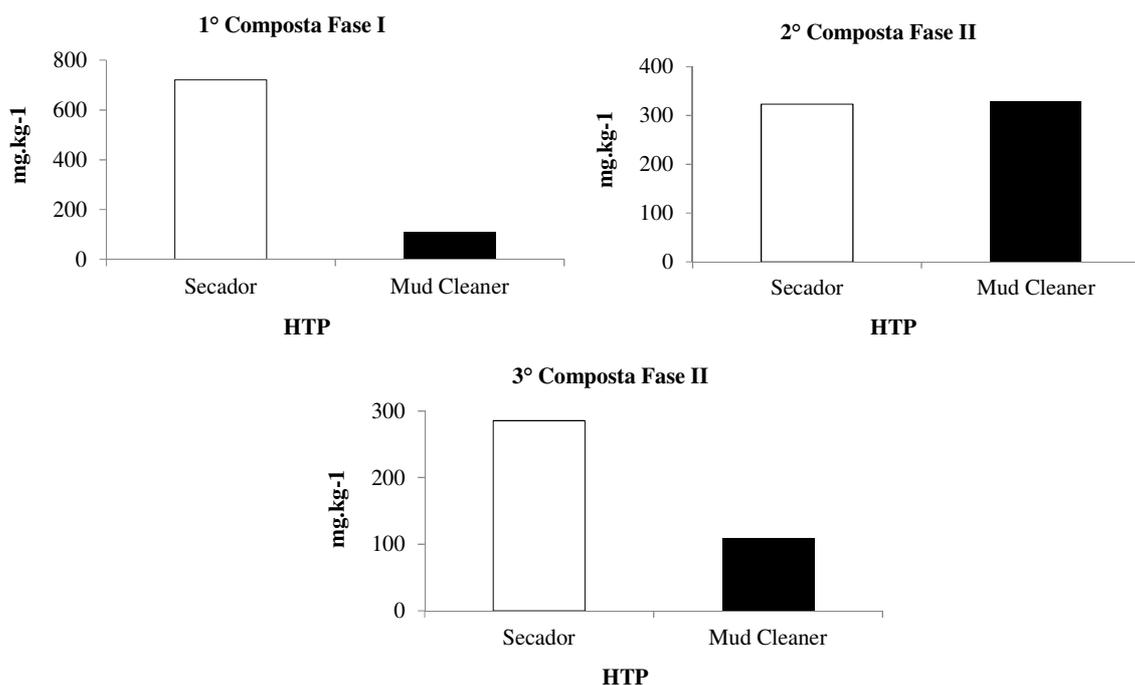


Figura 17. Relação das amostras compostas do secador e *mud cleaner*, do poço 7SMC-50D-AL, em função dos resultados de HTP.

Tabela 17. Resultados dos totais de macronutrientes e cobre, zinco, ferro e manganês nas amostras compostas de cascalho de perfuração do poço 7-SMC-50D-AL.

Equipamentos	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	mg kg ⁻¹			
						Cobre	Zinco	Ferro	Manganês
SEC (0-255 m)F1	0,00	0,00	2,68	1,16	0,06	2,94	0,52	6927,29	15,64
MC (0-255 m)F1	0,03	0,68	5,33	10,59	10,06	50,62	110,05	25229,52	607,09
SEC (255-543 m)F2	0,02	0,24	5,85	19,41	10,29	96,58	107,55	28464,24	568,38
MC (255-543 m)F2	0,02	0,63	7,17	16,43	8,44	55,05	150,84	22113,78	652,63
SEC (543-943 m)F2	0,00	0,00	5,66	10,04	2,99	15,05	21,45	13073,72	403,14
MC (543-831 m)F2	0,02	0,15	4,39	8,67	6,93	32,38	110,68	15836,70	434,93
SEC (943-1303 m)F3	0,02	0,21	5,84	15,55	9,71	24,49	65,77	20285,51	429,35
SEC (1303-1447 m)F3	0,00	0,12	7,49	3,28	9,53	70,63	64,32	29477,02	588,19
SEC (1447-1700 m)F3	0,01	0,27	6,18	1,09	9,86	48,98	87,73	34989,64	779,12
CT1 F1	0,00	0,00	1,98	0,66	0,33	25,13	50,04	19761,06	57,19
CT 1 F2	0,01	0,33	4,18	11,78	6,91	29,81	75,18	16366,75	388,44
CT1 F3	0,00	0,03	4,07	11,41	6,42	30,53	116,63	20138,29	398,88
CT 2 F1	0,01	0,67	5,34	19,35	11,35	54,37	110,78	28560,17	734,56
CT2 F2	0,02	0,33	4,62	12,48	7,59	44,87	116,57	22440,77	634,31
CT2 F3	0,00	0,00	3,08	4,84	3,57	21,87	60,97	9473,94	316,19

*SEC: Secador; CT1: Centrífuga 1; CT2: Centrífuga 2. MC: Mud Cleaner; F1: Fase 1; F2: Fase 2; F3: Fase 3.

Tabela 18. Teores disponíveis de nutrientes nas amostras compostas de cascalho de perfuração do poço 7-SMC-50D-AL

Composta		Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	m	n	pH _{águaa}	Corg	P	K	Na	PST
		Cmol _c / dm ³						%				1:2,5	%	mg/L				
AL	1S	0,2	0,9	0,5	0,04	0	0	1,7	1,7	100	0	13,3	8,4	12,0	59	14	51	13,3
AL	2S	0,6	3,7	0,4	0,08	0	0	4,8	4,8	100	0	13,3	11,3	16,6	19	30	147	13,3
AL	3S	0,5	0,8	0,1	0,11	0	0	1,5	1,5	100	0	31,9	9,2	9,0	29	41	108	31,9
AL	4S	3,0	1,9	0,3	0,18	0	0	5,4	5,4	100	0	56,0	8,5	38,2	17	71	697	56,0
AL	5S	5,9	2,9	0,1	0,24	0	0	9,1	9,1	100	0	64,5	8,2	47,5	39	93	1355	64,5
AL	6S	4,9	3,2	0,1	0,22	0	0	8,4	8,4	100	0	58,0	8,4	45,8	30	85	1115	58,0
AL	1M	0,4	1,2	0,3	0,11	0	0	2,0	2,0	100	0	20,3	8,3	35,8	49	41	94	20,3
AL	2M	0,7	1,3	0,2	0,06	0	0	2,2	2,2	100	0	30,1	8,3	11,5	28	23	153	30,1
AL	3M	0,6	0,4	0,3	0,07	0	0	1,4	1,4	100	0	45,1	8,3	10,5	52	26	145	45,1
AL	1C1	0,1	0,4	0,1	0,03	0	0	0,7	0,7	100	0	20,9	9,2	2,1	9	12	33	20,9
AL	2C1	0,4	0,4	0,1	0,07	0	0	1,0	1,0	100	0	42,0	9,8	8,9	39	26	94	42,0
AL	3C1	3,6	2,2	0,2	0,20	0	0	6,2	6,2	100	0	57,7	9,1	31,9	12	79	817	57,7
AL	1C2	0,2	1,1	0,3	0,04	0	0	1,6	1,6	100	0	11,1	8,5	12,2	23	14	41	11,1
AL	2C2	0,5	0,6	0,2	0,06	0	0	1,4	1,4	100	0	36,7	9,1	9,8	7	24	115	36,7
AL	3C2	1,0	1,7	0,4	0,07	0	0	3,1	3,1	100	0	30,6	9,9	5,5	7	29	220	30,6

*S: Amostras oriundas do secador; C1: Amostras oriundas da centrífuga 1; C2: Amostras oriundas da centrífuga 2; M: Amostras oriundas do *Mud cleaner*.

2.6.3 Escolha das amostras compostas de cascalho para os capítulos subsequentes.

Em função do grande número de amostras compostas geradas, 16 no primeiro poço e 15 no segundo (Figura 6), (Figura 7) e (Figura 8), foram feitas escolhas específicas das amostras dos dois poços avaliados.

Esta escolha foi embasada nos resultados das análises de caracterização, de modo que, para as fases subsequentes fossem usadas as mais críticas em função de cinco elementos mais restritivos e, possivelmente os cinco mais “promissores” quanto a sua aplicação no solo e aproveitamento nas plantas (Capítulo IV).

Um breve parágrafo deve ser descrito em função dos altos valores de bário encontrados nos resultados dos teores pseudototais nos dois poços (Tabela 7) e (Tabela 14). Para este trabalho foram considerados como restritivos, apenas os totais de hidrocarbonetos de petróleo e o sódio, sendo o bário objeto de outro estudo. Isso em função da grandiosidade e do extenso trabalho que se deu até certo tempo de forma conjunta e concomitante. Assim esse trabalho não discutiu os resultados e implicações do bário, uma vez que toda essa discussão foi também objeto de um trabalho paralelo (Magalhães et al., 2011).

Focando o trabalho apenas no Na e nos hidrocarbonetos como parte dos mais restritivos, os parâmetros utilizados para definição das amostras compostas se deu em função da combinação dos maiores resultados para a CE do extrato da pasta saturada em combinação com os resultados dos teores de sódio total e trocável, além de serem considerados, de forma conjunta os resultados de todas as análises de caracterização de cada uma das amostras do cascalho já citadas anteriormente e, principalmente a NBR 10004. Assim, para os capítulos II e III e V, que precisavam avaliar amostras mais restritivas, do ponto de vista de possíveis contaminantes, ficou decidido que a amostra de cascalho utilizada seria a 6ª composta do secador, oriunda de apenas um poço, o do estado da Bahia. Esse poço foi escolhido por ter utilizado do início ao fim um único fluido, o de base não aquosa, ou orgânica.

2.6.4 Análises químicas dos solos do entorno das áreas de locação dos poços de petróleo.

Os solos do entorno das áreas de locação foram identificados como Argissolos (Ver item 2.5.4) e também tiveram os seus resultados analisados à luz da lista de valores orientadores estabelecidos pela CETESB (2005). Há agora, também, outro instrumento legal para fins de avaliação e orientação dos teores de metais pesados no solo, que é a Resolução 420 do CONAMA, de dezembro de 2009, que, diz em seu texto que os VRQs do solo, para substâncias químicas naturalmente presentes, serão estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal, em até 04 anos após a publicação desta Resolução.

Observando a Tabela 19, percebe-se que os teores de alumínio, ferro e sódio, apesar de não terem Valores de Referência de Qualidade na lista da CETESB, parecem, num primeiro momento, se apresentar com elevados teores, o que pode estar associado à processos pedogenéticos.

A Tabela 20 mostra os resultados obtidos para as análises químicas de fertilidade do solo, nas amostras compostas dos dois solos do entorno das áreas de locação, respectivamente nos estados da Bahia e de Alagoas.

Os resultados encontrados (Tabela 20), revelaram um pH ácido (4,4 e 3,8 respectivamente) na profundidade avaliada (0-20 cm) e baixos teores de Ca e Mg (0,9 e 0,4 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo da Bahia e 0,8 e 0,4 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo de Alagoas).

Os solos apresentam alta saturação por alumínio (valor m), o que certamente representa um impedimento ao estabelecimento da maioria das plantas cultivadas. Os solos apresentam baixos teores de carbono orgânico (0,63% e 0,59% para o estado da Bahia e de Alagoas respectivamente). Além disso, os teores de fósforo e potássio também se apresentam muito baixos para ambos os solos demonstrando uma severa carência em nutrientes primários para o crescimento vegetal.

Em face dos resultados encontrados, os solos do entorno das áreas de locação nos estados da Bahia e de Alagoas apresentam baixa fertilidade, sendo necessário, para uso agrônômico, práticas agrícolas que visem o aumento da fertilidade, tais como calagem e aplicação de insumos que possam promover o aporte de nutrientes.

Em relação à participação dos solos das regiões estudadas e suas contribuições diretas em alguns constituintes encontrados nos cascalhos gerados no secador, é preciso esclarecer que a Formação Coqueiro Seco, caracteriza-se por intercalações de arenitos deltaicos e folhelhos e a Formação Penedo é uma sucessão predominantemente arenosa de depósitos eólicos e fluviais, servindo os delgados folhelhos que se intercalam como selantes para as acumulações de gás. Essas formações fazem parte da Formação Barreiras, presente no campo de Pilar, região como é conhecida a locação do poço de Alagoas. Para o poço do campo de Miranga, no estado da Bahia, as Formações correspondem a corpos arenosos predominantemente quartzosos, em geral de granulometria fina a muito fina, com presença de cimento calcífero e matriz argilosa. Essas formações, presente nos dois poços estudados, formam solos dos conhecidos Tabuleiros Costeiros, descritos em diversas literaturas e, mais recentemente atualizados em (Corrêa et al., 2008; Lima Neto et al., 2009).

Tabela 19. Análise dos teores de pseudototais de metais pesados, nitrato e sódio – CETESB (2005) Referência de qualidade, nas amostras compostas dos Argissolos das áreas do entorno das locações de poços de perfuração de petróleo nos estados da Bahia (BA) e Alagoas (AL).

	Alumínio	Antimônio	Arsênio	Bário	Boro	Cádmio	Chumbo	Cobalto	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Mercurio	Molibdênio	Níquel	Prata	Selênio	Vanádio	Zinco	Nitrato	Sódio
	mg kg ⁻¹																				
VP	-	2	15	150	-	1,3	72	25	60	75	-	-	0,5	30	30	2	5	-	300	-	-
APMax	-	5	35	300	-	3	180	35	200	150	-	-	12	50	70	25	-	-	450	-	-
Industrial	-	25	150	750	-	20	900	90	600	400	-	-	70	120	130	100	-	1000	2 000	-	-
	mg kg ⁻¹																				
SOLO																					
BA	11242,1	N.D.	2,7	25122,9	1,7	N.D.	6,8	1,3	9,4	39,6	30584,7	10,3	N.D.	0,6	1,4	N.D.	1,4	87,8	3,7	27,8	2954,8
AL	7999,8	N.D.	2,8	123100,0	3,9	N.D.	3,4	0,3	1,0	14,7	8819,6	4,2	N.D.	0,7	1,4	N.D.	N.D.	26,5	2,7	29,6	160,9

* VP: Valor de prevenção.

*APMax: Valor de intervenção – Agrícola-Área de Prevenção Máxima.

*Industrial: Valor de intervenção industrial.

Tabela 20. Análises dos teores trocáveis nas amostras compostas dos solos das áreas do entorno das locações de poços de perfuração de petróleo, nos estados da Bahia (BA) e Alagoas (AL).

Profund. (cm)	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	m	n	pH _{água}	Corg	P	K	
	Cmol _c / dm ³										%	1:2,5	g/kg	mg/L		
	Argissolo - BA															
0-20	0,040	0,9	0,4	0,01	4,1	3,5	1,35	5,45	25	71,9	1	4,4	6,3	1	4	
	Argissolo - AL															
0-20	0,265	0,8	0,4	0,03	4,1	1,6	1,49	5,59	27	51,8	5	3,8	5,9	1	10	

2.7 CONCLUSÕES

Com a avaliação dos dados é possível concluir que os resíduos avaliados (cascalhos de perfuração de poços de petróleo 7MGP-98D-BA e 7SMC-50D-AL):

- ✓ Devem ser classificados como Resíduo Classe II A (Não Perigoso e Não Inerte), conforme a ABNT/NBR-10004:2004 – Resíduos Sólidos – Classificação.
- ✓ Apesar de se enquadrarem como Classe IIA, há uma clara diferenciação desses resíduos, quando ocorre segregação entre os distintos aparelhos de recuperação do fluido.
- ✓ Os maiores teores de hidrocarbonetos, encontrados no equipamento secador, podem estar associados ao fluido de perfuração utilizado (a cromatografia gasosa indica presença de cadeias de carbono C₁₂ a C₁₆) e reforçam ainda mais, maior ligação do cascalho oriundo do equipamento secador com a rocha atravessada, uma vez que os maiores volumes de cascalho provem desse equipamento e, é justamente o fluido de perfuração o responsável por trazer à superfície, esse material. Isso ficou claro nos dois poços avaliados.
- ✓ Os resíduos gerados no equipamento secador possuem maior semelhança com o material de origem do poço, ou seja, a rocha geradora.
- ✓ Os resultados de pseudototais de metais encontrados nas amostras de solo mostram que os solos possuem altos teores de bário e ferro que são obviamente originários da rocha matriz.
- ✓ Os cascalhos de perfuração, independentemente da segregação por equipamento de recuperação de fluido, apresentam na sua constituição teores de Na que podem limitar as doses anuais de aplicação na agricultura.

CAPÍTULO II

3 MINERALIZAÇÃO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS DO CASCALHO DE PERFURAÇÃO, MISTURADO COM TORTA DE MAMONA, MEDIDA PELA EVOLUÇÃO DE CO₂

3.1 RESUMO

Este capítulo teve por objetivo avaliar a velocidade de mineralização de resíduos da indústria de energia com potencial para a agricultura, de forma conjunta. Um resíduo orgânico (torta de mamona da produção direta da semente) e outro alcalino, rico em sais de sódio (cascalho de perfuração). Foram feitas incubações com doses desses dois resíduos em amostras de solos de textura diferentes (Argissolo e Planossolo), para se medir a taxa de mineralização dos constituintes orgânicos do cascalho, além de quantificar grupos de micro-organismos quanto a fungos, bactérias e actinomicetos. Nessa fase, 26 tratamentos com três repetições foram preparados e tiveram a evolução de CO₂ mensurada durante 31 dias. Após o ensaio, amostras do substrato foram coletadas e submetidas à quantificação de micro-organismos. Também foi feita análise de pH, Na e K nas amostras, afim de se verificar a influência desses elementos no desenvolvimento da microbiota do solo. Os resultados mostraram que a mineralização ocorreu exatamente no tempo de duração do experimento, ou seja, em 31 dias e foi diretamente proporcional a maior dose do resíduo orgânico aplicado. Em se tratando da quantificação dos micro-organismos, a contagem do número mais provável, junto com os teores totais de hidrocarbonetos analisados mostrou a dificuldade de se estabelecer uma dose máxima que possa ser aplicada ao solo, sem causar alterações na população microbiana dos substratos testados.

Palavras chave: Salinidade. Degradação. Resíduos de E&P.

3.2 ABSTRACT

This chapter aimed to evaluate mineralization speed of energy industry residues with potential for agriculture, in combination. An organic residue (castor bean cake produced directly from seed) and other alkaline, rich in sodium salts (drill cuttings). Incubations were done in doses of these two residues in soil samples of different texture (Ultisol and Fragiudult soil) to measure the mineralization rate of the gravel organic constituents, and to quantify groups of microorganisms as fungi, bacteria and actinomycetes. In this phase, 26 treatments with three repetitions were prepared and the CO₂ evolution measured for 31 days. After the test, substrate samples were collected and quantified the microorganisms. It was also performed analysis of pH, Na and K in the samples, in order to check the influence of these elements in the development of soil microbes. The results showed that the mineralization occurred in exactly the duration of the experiment, in other words in 31 days, and it was directly proportional to the highest organic residue dose applied. Concerning the quantification of microorganisms, the most probable number count method, jointly with total concentration of hydrocarbons showed how difficulty is to establish a maximum dosage to be applied to the soil without changes in the microbial population of the substrates tested.

Key words: Salinity. Degradation. Residues of E&P.

3.3 INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado da população mundial e o aumento da demanda energética impulsionou a busca por fontes de energias alternativas. A utilização de biodiesel tem apresentado um potencial promissor no mundo inteiro, pela sua enorme contribuição ao meio ambiente e como fonte estratégica de energia renovável.

Com o aumento das preocupações mundiais com o ambiente e a necessidade de adaptação ao contexto da globalização da economia, as empresas começaram a atentar para as questões ambientais e a sustentabilidade no processo produtivo. A escassez dos recursos naturais tem forçado as empresas a buscarem soluções para evitar o desperdício e melhorar sua eficiência.

A sustentabilidade é um aspecto que deve estar associado com todos os projetos e empreendimentos na atualidade, sobretudo no que diz respeito às atividades de reconhecido impacto ambiental como as de exploração e produção de petróleo. Manter essa sustentabilidade é um desafio, visto a dificuldade de manter o equilíbrio ecológico e atender a uma demanda cada vez maior de alimentos, energia e matéria-prima (produtos agropecuários). Neste contexto, a produção de fontes energéticas através da atividade petrolífera é desenvolvida em condições cada vez mais restritivas do ponto de vista ambiental, sendo cada vez mais frequente estudos e investimentos em busca da sustentabilidade, tendo em vista o impacto ambiental inevitável da atividade que, notadamente gera rejeitos.

O cascalho, um desses rejeitos gerados na perfuração de poços de petróleo, é constituído por rocha moída impregnada de fluido de perfuração (uma mistura complexa, rica em sódio e baritina), podendo, se tratado com parcimônia, ter seu destino final na agricultura. Para que isso ocorra, é preciso que novas pesquisas sejam desenvolvidas para se avaliar o efeito da adição do cascalho nas características físicas, químicas e microbiológicas do solo e no desenvolvimento das plantas cultivadas sobre este substrato, já que, além de possíveis benefícios, seu uso pode causar impactos negativos no solo, como adição de substâncias orgânicas, metais pesados e principalmente sódio.

Para atenuar os impactos causados pela adição de cascalho no solo é importante a utilização de uma fonte de matéria orgânica que além de estimular o crescimento das plantas, impulse a atividade microbiana para que esses compostos sejam degradados rapidamente. A torta de mamona é uma excelente fonte de matéria orgânica, possuindo altos teores de nutrientes, além de apresentar alta relação C/N, sendo rapidamente mineralizada.

Este capítulo visa, portanto, apontar alternativas para o uso de resíduos da indústria de energia, apontando seu tempo de mineralização com foco na liberação de possíveis elementos essenciais e/ou degradação de contaminantes.

Para atender a esse objetivo foi verificada a taxa de mineralização, medida pela evolução de CO₂, dos compostos orgânicos do cascalho de perfuração misturado com um resíduo orgânico (torta de mamona) e ao final do processo, realizada a quantificação dos micro-organismos, além da avaliação da degradação dos compostos contidos no cascalho de perfuração, através dos resultados do total de hidrocarbonetos de petróleo, comparando o total aplicado com o resultado encontrado após o término do experimento.

3.4 REVISÃO DE LITERATURA

3.4.1 Degradação de contaminantes no solo por micro-organismos

Os micro-organismos do solo têm importante participação na transformação e degradação de compostos orgânicos poluentes, inclusive as complexas cadeias de hidrocarbonetos que formam o petróleo. As variáveis que favorecem esses processos no solo são, entre outros, a temperatura, a quantidade de nutrientes disponíveis, a umidade e a disponibilidade de carbono prontamente metabolizável (Silva & Mendonça, 2007). O petróleo pode ser utilizado por diversos micro-organismos como fonte de carbono e energia. Uma grande quantidade de substratos e metabólitos presentes em solos impactados por hidrocarbonetos fornece condições para o desenvolvimento de uma complexa comunidade microbiana (Ferguson et al., 2007).

De acordo com Holliger et al. (1997) citado por Jacques et al. (2007), uma estratégia para eliminar os compostos de petróleo em solos contaminados é a biorremediação, que é, por definição, um processo que emprega micro-organismos com potencial fisiológico para remoção de poluentes no solo ou outros ambientes, e baseia-se em três aspectos principais: (i) a existência de micro-organismos com capacidade catabólica para degradar o contaminante; (ii) a disponibilidade do contaminante ao ataque microbiano ou enzimático e (iii) condições ambientais adequadas para o crescimento e atividade do agente biorremediador. As técnicas de biorremediação podem ser realizadas no local do derrame (*in situ*) ou fora deste (*ex situ*), compreendendo diversos processos, tais como: biorremediação passiva; bioventilação; “*landfarming*”; compostagem; bioestimulação e bioaugmentação (Moreira & Siqueira, 2002; Molina-Barahona et al., 2004).

Características químicas como o pH, a condutividade elétrica e a presença de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs) devem ser levados em consideração, pois o pH pode ser alterado pela presença de poluentes e influencia diretamente a solubilidade de minerais e de matéria orgânica do solo, na disponibilidade de nutrientes e na atividade de micro-organismos (Arias, 2005).

Dentre os grupos de micro-organismos responsáveis pelos processos de decomposição da matéria orgânica destacam-se as bactérias, os fungos e os actinomicetos, que utilizam energia proveniente da oxidação biológica de fontes de carbono presentes nos resíduos. Parte desta energia é utilizada para o metabolismo dos micro-organismos e o restante é liberado como calor através de reações químicas exotérmicas (Monteiro, 1995). Esses micro-organismos também são destacados por Vidor et al., (1997) devido principalmente, à sua maior importância agrícola, em função do tamanho e características de sua população e a importância destes nas reações bioquímicas do solo. Bactérias, leveduras e fungos filamentosos são agentes eficientes na degradação de um grande número de substâncias orgânicas comumente encontradas em efluentes gerados pelas refinarias de petróleo (Atagana et al, 2006).

De acordo com Silva (2001), que avaliou a biodegradação acelerada de pesticidas, os micro-organismos exibem duas estratégias ecológicas para a assimilação do substrato ou metabolismo: a mineralização e o co-metabolismo. Na mineralização o substrato absorvido é quebrado em pequenas moléculas as quais são posteriormente metabolizadas em rotas que geram energia. Neste caso, a biomassa microbiana aumenta à custa do substrato. Ao contrário da mineralização, no co-metabolismo não há geração de energia.

As transformações microbianas, por conta das diferentes populações que ocorrem num ecossistema, assim como diferentes reações químicas, podem ser alteradas sempre que ocorrer algum tipo de modificação no ambiente. Considerando que o solo é um sistema complexo e

dinâmico, pode-se postular que diferentes manejos podem significar várias disponibilidades de substrato e nutrientes, que em última instância vão determinar, favorecendo ou inibindo, o estabelecimento dos diferentes grupos microbianos (Cardoso & Freitas, 1992).

A medição da atividade microbiológica através da respiração, fixação biológica do nitrogênio, mineralização de compostos orgânicos, atividade enzimática e biomassa microbiana são feitas por técnicas bem estabelecidas, sendo essas características utilizadas, entre outros fins, como indicadores sensíveis da poluição (Brookes, 1995).

A biorremediação, em suas mais diferentes formas, é uma tecnologia inovadora para tratamento de diferentes resíduos, porém é necessário apontar a ausência de tópicos de interesse na literatura, como a complexidade enzimática, mecanismos de degradação dos compostos e competição fungo-bactérias. Ainda assim, vale ressaltar que as técnicas biológicas, geralmente apresentam relação custo-benefício satisfatório e bem menos agressivas ao ambiente (Oliveira et al., 2008).

3.5 MATERIAL E MÉTODOS

3.5.1 Mineralização dos compostos orgânicos do cascalho, estimado pela evolução de CO₂

Foram utilizadas amostras de horizontes superficiais de um Planossolo e de um Argissolo, previamente caracterizados (Tabela 21) de acordo com EMBRAPA (1997), de ocorrência no campus da UFRRJ e no entorno da área de locação do poço no município de São Miguel dos Campos, Al, respectivamente. O cascalho de perfuração é oriundo do poço 7MGP 98-D BA, coletado no município de Pojuca, Ba (VER ITEM 2.6.3). O resíduo orgânico (torta de mamona) é oriundo da produção de biodiesel direto da semente (de plantas de mamona) e foi utilizado apenas como fonte principal de carbono. A descrição e caracterização mais completa do resíduo estão em trabalho realizado por Freitas (2009). Os teores de N, P, K, Ca, Mg e C orgânicos são respectivamente de 31,2; 5,4; 2,8; 17; 0,9 e 300,7 - valores em (g.kg⁻¹).

As doses (em t.ha⁻¹) dos resíduos foram 0 de torta e 0 de cascalho (controle); 5 de torta com 0, 8, 32 e 64 de cascalho; 20 de torta com 0, 8, 32 e 64 de cascalho e 40 de torta com 0, 8, 32 e 64 de cascalho, totalizando 13 tratamentos com 3 repetições cada, formando 39 unidades experimentais.

Tabela 21. Atributos químicos dos solos utilizados como substratos no ensaio de evolução de CO₂.

Prof ⁽¹⁾ cm	pH H ₂ O	Complexo Sortivo							P ⁽³⁾ mg kg ⁻¹	C ⁽⁴⁾ g kg ⁻¹
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB ⁽²⁾	Al ³⁺	H ⁺		
PLANOSSOLO										
0-20	5,5	1,2	0,3	0,07	0,02	1,59	0,5	2,0	3	1,2
ARGISSOLO										
0-20	3,8	0,8	0,4	0,03	0,26	1,49	1,6	2,5	1	5,9

(1)Prof= profundidade; (2)SB= soma de bases trocáveis; (3)P= fósforo assimilável; (4)C= carbono orgânico total.

Utilizou-se para este experimento o método estático de evolução de CO₂ ou C mineralizável adaptado por Mendonça & Matos (2005). Foram utilizados recipientes plásticos como unidades experimentais, contendo 100 g da amostra de solo e as quantidades equivalentes às doses dos tratamentos propostos para o experimento. As leituras ocorreram aos 4, 7, 11, 16, 22 e 31 dias após o início da incubação.

3.5.2 Quantificação dos grupos de micro-organismos

As análises foram feitas imediatamente após a coleta de solo nas unidades experimentais e se deram no Laboratório de Bacteriologia e Micologia do Instituto de Veterinária da UFRRJ.

Após 31 dias de incubação, foram escolhidas entre os tratamentos dos dois solos, amostras que tiveram maior quantidade de CO₂ capturado em solução de NaOH 0,5 mol.L⁻¹ ao fim das 7 leituras realizadas. Esses tratamentos são mostrados na (Tabela 22).

Tabela 22. Amostras para quantificação microbiana após evolução de CO₂

Tratamentos	Torta de mamona	Cascalho de perfuração
	----- t.ha ⁻¹ -----	
1	0	0
2	5	0
5	5	64
8	20	32
12	40	32

Para quantificação de bactérias e actinomicetos, 25 g de cada amostra foram transferidos para Erlenmeyer contendo 225 mL de solução salina 0,9 % previamente esterilizada. Esta solução foi agitada em mesa agitadora por 30 min a 100 rpm, e a partir desta, foram preparadas as diluições decimais em série de 10 em 10. Cada amostra foi plaqueada em meio PCA (Plate Count Agar) e Agar Glicerol Extrato de Levedura (AGEL).

Com base no tratamento e nos meios de cultura, foram escolhidas 3 diluições para plaqueamento em cada meio. Alíquotas de 0,1 mL da diluição escolhida foram transferidas pelo método *Spread Plate* para placas de Petri contendo meios específicos para cada isolamento e contagem de grupos de micro-organismos, com 3 repetições para cada diluição em cada meios. No PCA foram isoladas bactérias e no AGEL, os actinomicetos (Figura 18).

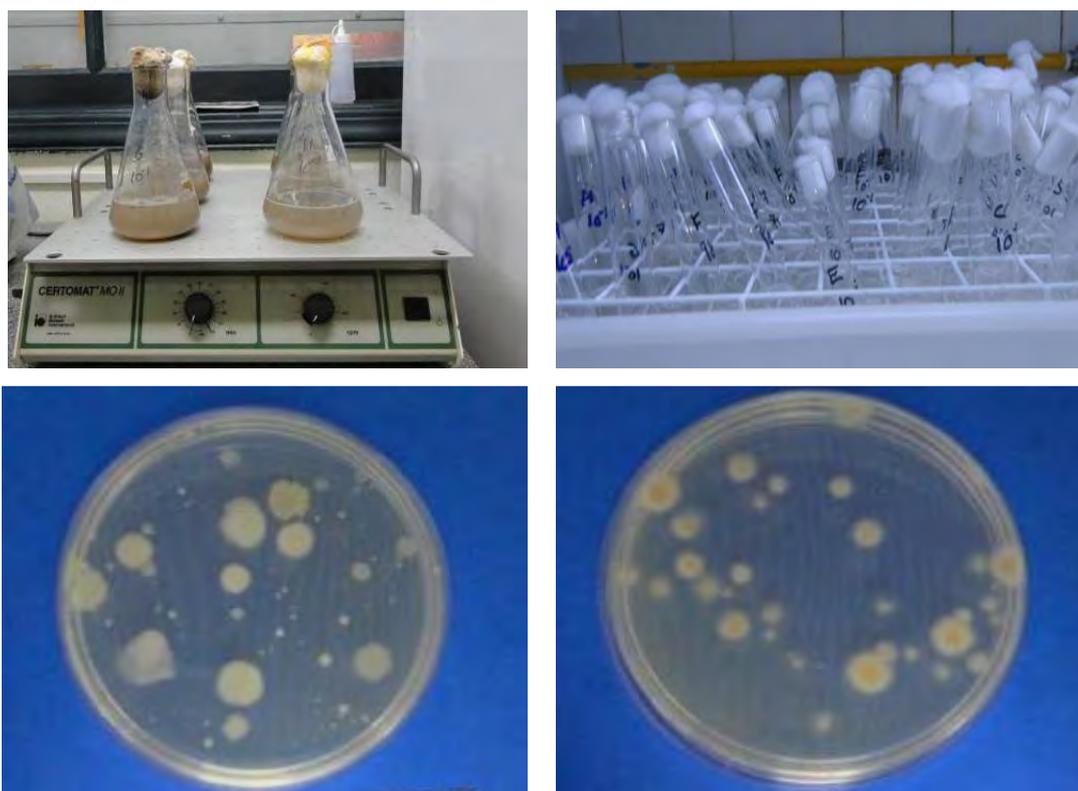


Figura 18. Fases da quantificação (em UFC.g⁻¹ solo) dos micro-organismos, acima (amostras em mesa agitadora para obtenção das diluições) e, abaixo, crescimento das colônias.

As placas de Petri inoculadas foram incubadas a 37 °C, as placas preparadas com PCA permaneceram na estufa por 48 horas e placas com AGEL ficaram de 48 à 168 horas na estufa

(2 à 7 dias), pelo fato dos Actinomicetos (micro-organismos selecionados neste meio) possuírem crescimento mais lento.

Após as incubações foi feita a contagem do número de unidades formadoras de colônias (UFC) totais para cada diluição. A contagem foi realizada em cada uma das 3 placas de cada diluição (triplicata), com os valores obtidos de cada placa, foi calculado a média entre eles obtendo o número de UFC de cada diluição. Foram consideradas apenas as contagens que variaram de 30 a 300 colônias (Clark, 1965; Schortemeyer et al., 1996). As amostras onde o valor encontrado não foi viável (entre 30 e 300 UFC) foram submetidas a novos plaqueamentos com as mesmas diluições ou com diluições diferentes, dependendo dos resultados encontrados.

Para a quantificação de fungos, pesou-se cinco gramas de cada uma delas, essas foram ressuspensas em 45 mL de solução contendo 0,1 % de peptona com 0,1 % de Tween 80 em frasco Erlenmeyer, em seguida agitou-se por 30 min em mesa agitadora a 150 rpm. O plaqueamento foi realizado em Meio Martin (MM) com alíquotas de 0,1 mL das respectivas diluições decimais realizadas em séries de 10 em 10, transferidas para as placas de Petri, onde foram plaqueados em forma de gotas, com 5 repetições para cada diluição. As placas de Petri foram incubadas em estufas a 25° C por 5 dias. (Gomes et al., 2001; Markovina et al., 2005).

A contagem das unidades formadoras de colônias (UFC) foi realizada segundo metodologia de diluição decimal seriada. Todas as placas foram observadas diariamente, onde as placas de meios para enumeração foram selecionadas dentre aquelas que apresentaram no de colônias entre 10 a 100. A leitura se baseou na presença ou ausência de UFC sobre cada gota (Samson, 2000).

Também quando da coleta dos substratos para as análises microbiológicas, foram enviadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo, amostras de solo para leitura de pH, Na e K.

3.5.3 Total de hidrocarbonetos de petróleo (HTP)

A determinação da concentração do total de hidrocarbonetos de petróleo foi realizada no laboratório da *Analytical Solutions*, no Rio de Janeiro, que utiliza como referência a técnica de cromatografia gasosa de alta resolução acoplada a um espectrofotômetro de massa, de acordo com a metodologia EPA 8015B da Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA, 2005).

As coletas das amostras de solo nas unidades experimentais ocorreram ao final do experimento de evolução de CO₂ e após a coleta das plantas, quando foram coletadas 50 g de solo, acondicionadas em recipientes de vidro e imediatamente enviadas ao laboratório. Esta metodologia foi aplicada apenas para os tratamentos que foram avaliados quanto à contagem de micro-organismos, não sendo aplicada a todos os tratamentos utilizados nos ensaios.

3.5.4 Análises estatísticas dos dados

Os dados foram analisados através de comparações entre médias e a normalidade dos erros de cada parâmetro avaliado.

3.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.6.1 Evolução de CO₂

A Figura 19 apresenta a atividade microbiana, medida pela evolução de CO₂ em dois solos de textura contrastantes, incubados com torta de mamona e cascalho de perfuração, durante 31 dias.

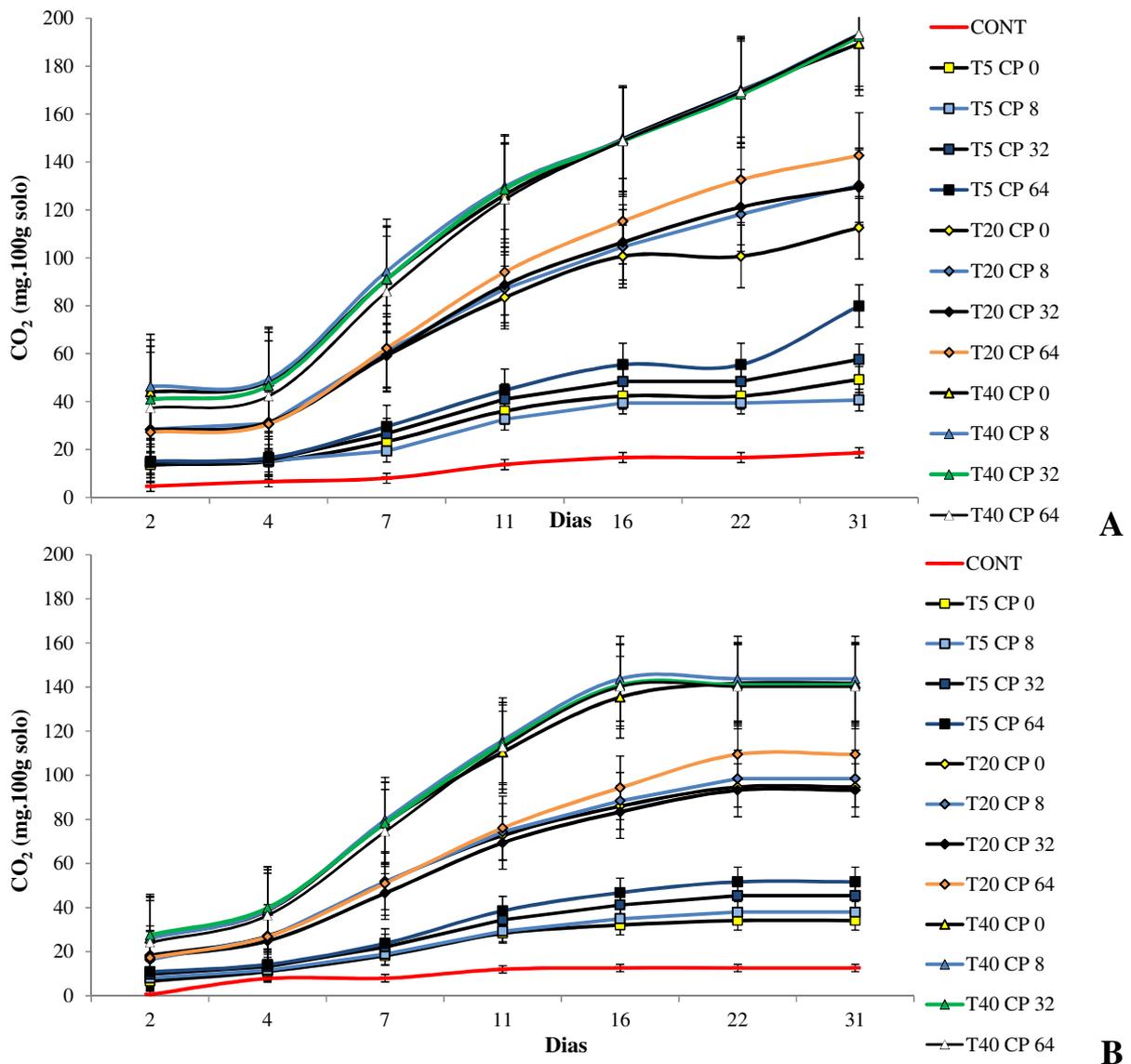


Figura 19. Atividade microbiana, medida pela evolução de CO₂, em dois solos de textura contrastantes, incubados com diferentes doses de torta de mamona e cascalho de perfuração, durante 31 dias. Acima (A) Planosolo e abaixo (B), Latossolo. As barras verticais indicam o erro padrão da média. T: torta de mamona; CP: cascalho de perfuração. Doses em t ha⁻¹.

Fica claro a simetria da evolução de CO₂ para os dois solos de textura contrastantes testados, tendo o Planosolo, alcançado as maiores taxas de desprendimento de gás carbônico

(Figura 19 A). Ocorreram agrupamentos nas doses testadas e diferenças claras dessas doses para o controle. Isso ocorreu sem distinção para os diferentes substratos (Figura 19 A e B).

O tratamento controle não apresentou variação ao longo da condução do experimento. Nem para o Planossolo e nem para o Argissolo (Figura 19 A e B) respectivamente.

Segundo Camargo e colaboradores (1999) a mineralização da matéria orgânica constitui a fase de perdas durante a decomposição dos compostos orgânicos em etapas distintas. Uma delas, denominada de mineralização primária, compreende a transformação de cerca de 70 a 80% da matéria orgânica em moléculas simples, como CO₂ e H₂O.

A Figura 20 mostra os valores de pH, Na e K trocáveis, encontrados nos substratos, após o término do ensaio de respirometria em Argissolo (A) e Planossolo (B).

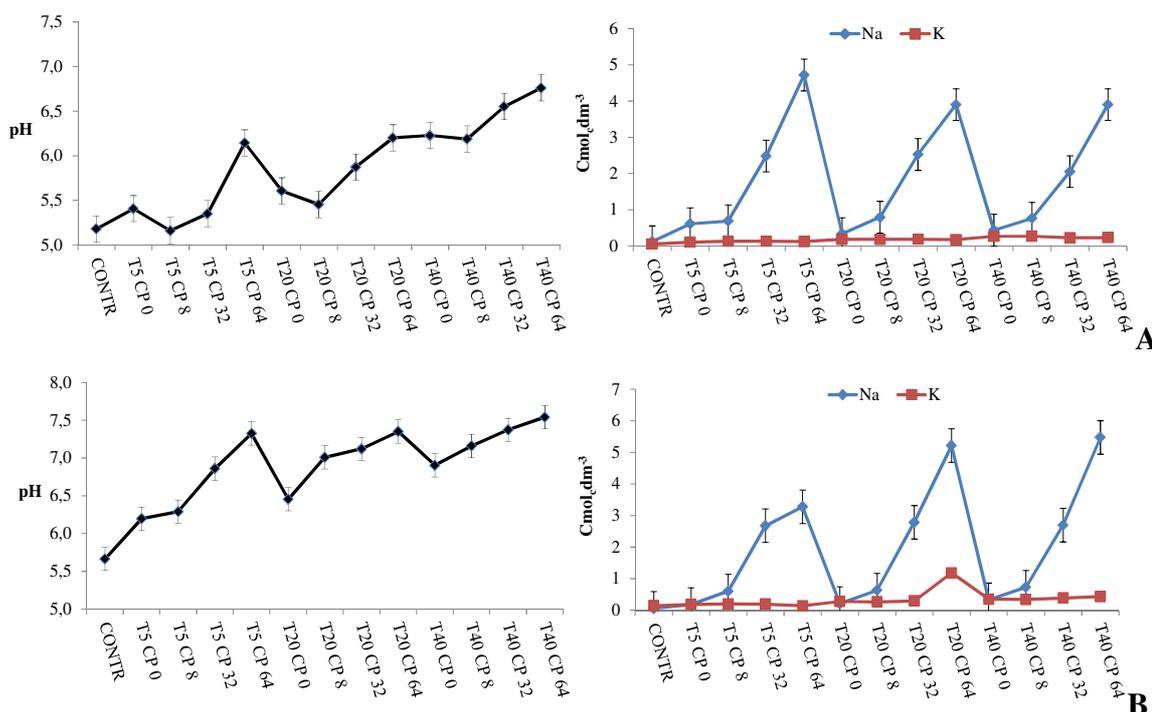


Figura 20. Valores de pH, Na e K trocáveis em amostras de um Argissolo (A) e de um Planossolo (B), incubados com diferentes doses de torta de mamona e cascalho de perfuração, obtidos após término do ensaio de respirometria. As barras verticais indicam o erro padrão da média. T: torta de mamona; CP: cascalho de perfuração. Doses em t ha⁻¹.

É possível perceber que nos tratamentos que receberam as maiores doses de cascalho de perfuração, ocorreram os maiores valores de sódio, com conseqüente elevação do pH. Comparativamente os valores de potássio foram muito baixos aos encontrados para sódio (Figura 20 A e B). É possível que esses resultados encontrados estejam relacionados à nutrição dos micro-organismos. Uma vez que estes utilizam e competem com plantas por elementos como K, P e N. As transformações microbianas, por conta das diferentes populações que ocorrem num ecossistema, assim como diferentes reações químicas, podem ser alteradas sempre que ocorrer algum tipo de modificação no ambiente. Considerando que o solo é um sistema complexo e dinâmico, pode-se postular que diferentes manejos podem significar várias disponibilidades de substrato e nutrientes, que em última instância vão determinar, favorecendo ou inibindo, o estabelecimento dos diferentes grupos microbianos (Cardoso & Freitas, 1992).

3.6.2 Quantificação dos grupos de micro-organismos.

A Figura 21 mostra os resultados obtidos para a quantificação de bactérias, em Log de unidades formadoras de colônias por grama de solo (Log de UFC.g⁻¹ de solo) nos tratamentos escolhidos para essa contagem, após o ensaio de evolução de CO₂ (Ver item 3.5.2). A contagem de actinomicetos (Figura 22), fungos (Figura 23), bem como os teores totais de hidrocarbonetos de petróleo (Figura 24), também irão se embasar apenas nessas amostras escolhidas (Item 3.5.2).

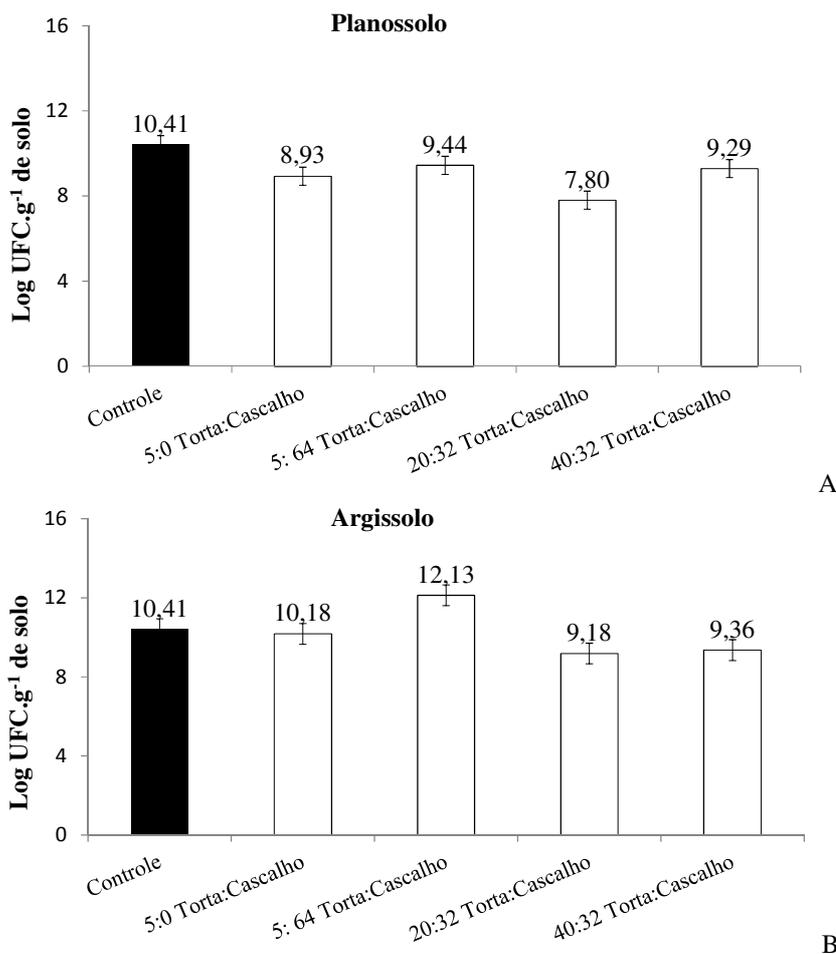


Figura 21. Contagem de bactérias (Log de UFC.g⁻¹ solo) após ensaios de respirometria, em substratos que continham horizontes superficiais de um Planossolo (A) e de um Argissolo (B). Doses (em t.ha⁻¹): Controle; 5:0 (5 de torta e zero de cascalho); 5:64 (5 de torta e 64 de cascalho); 20:32 (20 de torta e 32 de cascalho); 40:32 (40 de torta e 32 de cascalho). As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições.

Observando a Figura 21, é possível verificar certa semelhança na contagem de bactérias nos diferentes substratos utilizados (amostras superficiais de um Planossolo e um Argissolo), destacando-se o tratamento que recebeu 5 t.ha⁻¹ de torta e 64 t.ha⁻¹, junto com o de 40:32 para o Planossolo (Figura 21 A), sendo que todos foram inferiores ao tratamento controle e no Argissolo, o tratamento que continha a combinação 5:64 superou todos os outros, inclusive o tratamento controle (Figura 21 B).

A Figura 22 mostra a contagem de actinomicetos em Log de UFC.g⁻¹ solo nos tratamentos escolhidos após ensaio de respirometria.

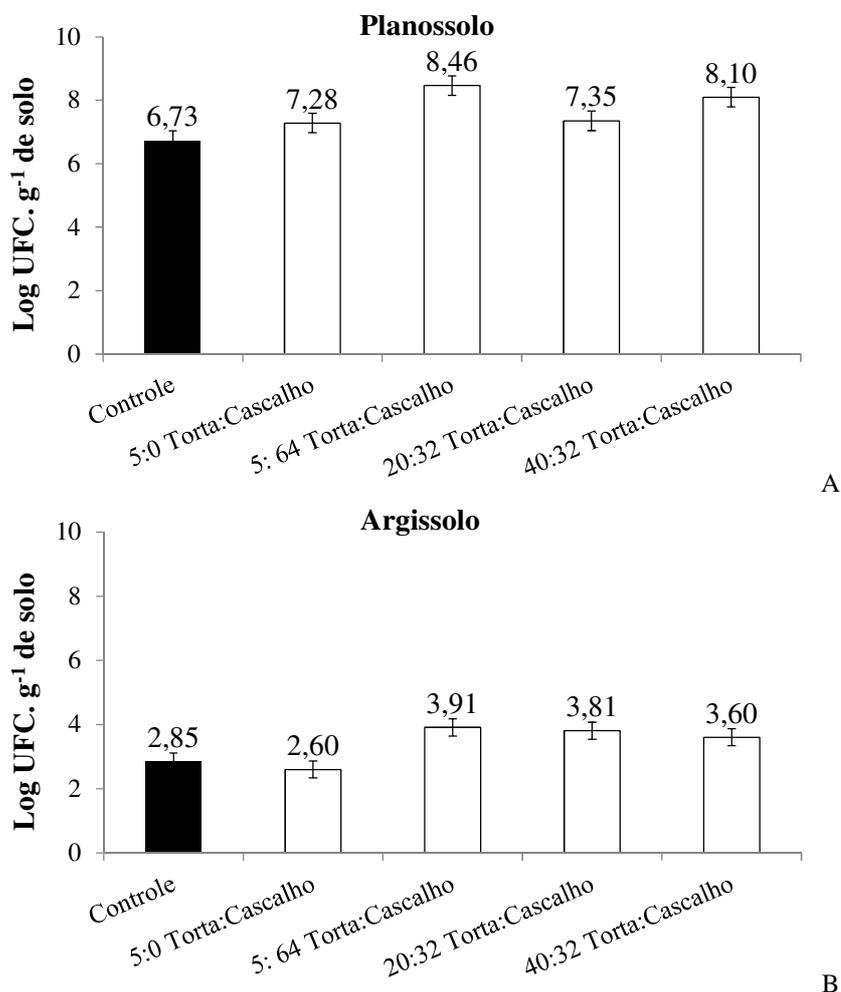


Figura 22. Contagem de actinomicetos (Log de UFC.g⁻¹ solo) após ensaios de respirometria, nos substratos que continham horizontes superficiais de um Planossolo (A) e de um Argissolo (B). Doses (em t.ha⁻¹): Controle; 5:0 (5 de torta e zero de cascalho); 5:64 (5 de torta e 64 de cascalho); 20:32 (20 de torta e 32 de cascalho); 40:32 (40 de torta e 32 de cascalho). As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições.

Observando a Figura 22 é possível perceber que o tratamento que recebeu 5 t.ha⁻¹ de torta e 64 t.ha⁻¹ de cascalho obteve maior crescimento de actinomicetos, para o substrato que continha amostra superficial de Planossolo. Esses tratamentos superaram o tratamento controle (Figura 22 A). Nas amostras de Argissolo, as combinações de 5:64, 20:32 e 40:32 proporcionaram maior número de desses microrganismo (Figura 22 B), que foram maiores que a contagem no tratamento controle. Ainda é possível perceber que esses microrganismos cresceram mais nas amostras com Planossolo do que naquelas com amostras de Argissolo (Figura 22).

A Figura 23 mostra a contagem de fungos em Log de UFC.g⁻¹ solo nos tratamentos escolhidos após ensaios de respirometria.

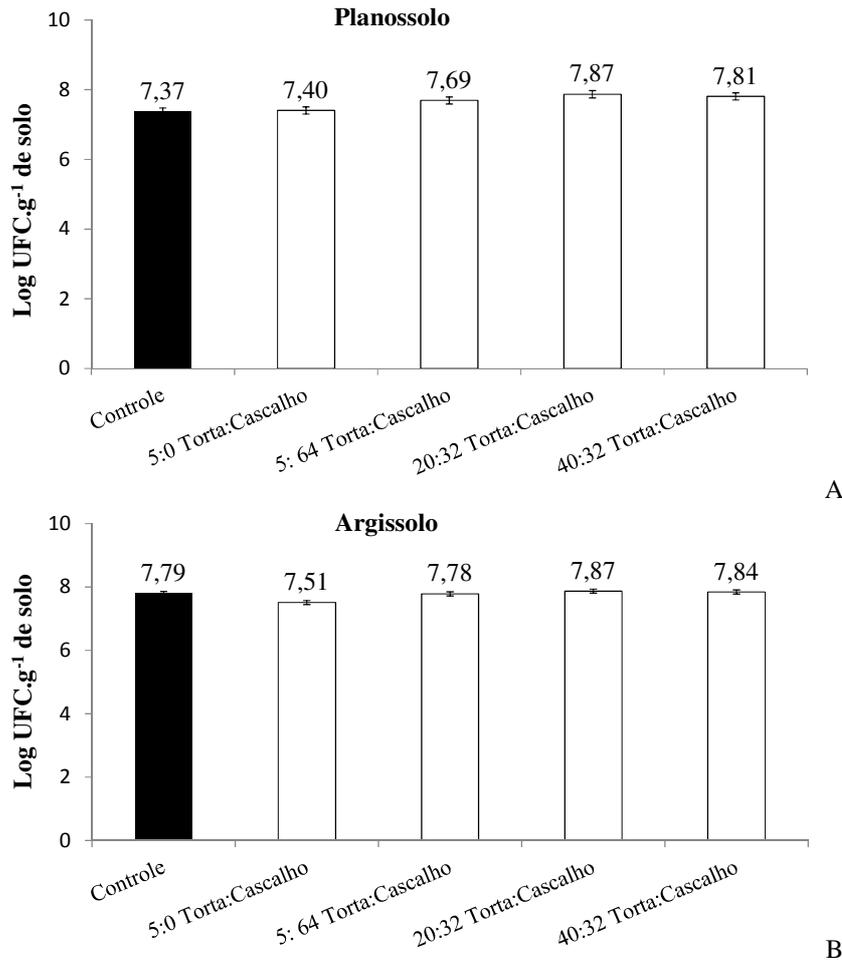


Figura 23. Contagem de fungos (Log de UFC.g⁻¹ solo) após ensaios de respirometria, nos substratos que continham horizontes superficiais de um Planossolo (A) e de um Argissolo (B). Doses (em t.ha⁻¹): Controle; 5:0 (5 de torta e zero de cascalho); 5:64 (5 de torta e 64 de cascalho); 20:32 (20 de torta e 32 de cascalho); 40:32 (40 de torta e 32 de cascalho). As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições.

É possível observar na Figura 23 que os tratamentos que receberam 20 t.ha⁻¹ de torta e 32 t.ha⁻¹ de cascalho, e o que recebeu 40 t.ha⁻¹ de torta e 32 t.ha⁻¹ de cascalho, respectivamente apresentaram os maiores valores de UFC.g⁻¹ solo, no Planossolo (Figura 23 A). Na contagem em Argissolo, essa diferenciação foi pouca (Figura 23 B).

Analisando conjuntamente os resultados apresentados nas Figuras 21, 22 e 23, é possível observar que os actinomicetos e os fungos apresentam menos unidades formadoras de colônias (Log de UFC.g⁻¹ de solo) quando comparados as bactérias. Oliveira et al. (2008), em trabalho que revisava sobre o emprego de fungos filamentosos na biorremediação de solos contaminados por petróleo, consideraram que os agentes biológicos mais utilizados na biorremediação são micro-organismos e plantas e, que dentre esses micro-organismos, as bactérias recebem maior destaque, sendo as mais empregadas na degradação de poluentes, devido a assimilação de maiores quantidades de nutrientes, especialmente as fontes de carbono. Percebe-se, porém que, para fungos e actinomicetos (Figura 22) e (Figura 23), o aumento de suas populações está diretamente ligado ao aumento das doses combinadas de resíduos, acompanhando o resultado obtido na evolução de CO₂ (Figura 19), ou seja, maiores quantidades de poluentes e aumento da condição de estresse, o que, segundo Oliveira e

colaboradores (2008), pode ser explicado pela boa resposta de crescimento dos fungos em condições adversas.

Os resultados para a contagem de bactérias (Figura 21) não mostram essa tendência. Cardoso e Freitas (1992) postularam que as transformações microbianas, por conta das diferentes populações que ocorrem no ecossistema, assim como diferentes reações químicas, podem ser alteradas sempre que ocorrer alguma modificação no ambiente. Considerando que o solo é um sistema complexo e dinâmico, pode-se postular que diferentes manejos podem significar várias disponibilidades de substrato e nutrientes, que em última instância vão determinar, favorecendo ou inibindo, o estabelecimento dos diferentes grupos microbianos.

3.6.3 Totais de hidrocarbonetos de petróleo

A Figura 24 mostra o total de hidrocarbonetos de petróleo (em mg), adicionados (colunas em preto), e os respectivos resultados, encontrados ao final dos ensaios de respirometria, colunas em branco. Os dados se referem apenas aos tratamentos que continham cascalho de perfuração, para ilustrar o grau de degradação alcançado após a evolução de CO₂.

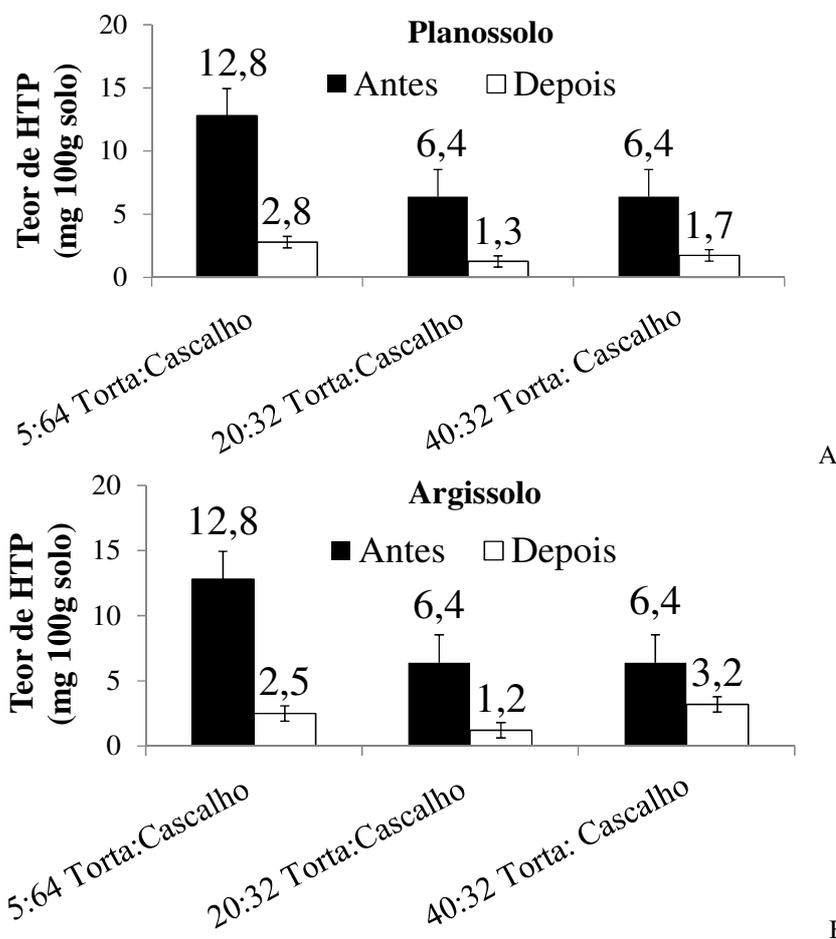


Figura 24. Teores de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (mg de HTP por 100g de solo) antes e depois dos ensaios de respirometria, nos substratos que continham horizontes superficiais de um Planossolo (A) e de um Argissolo (B). Doses equivalentes (em t.ha⁻¹): 5:64 (5 de torta e 64 de cascalho); 20:32 (20 de torta e 32 de cascalho); 40:32 (40 de torta e 32 de cascalho). As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições.

O tratamento que continha a proporção de 20 t.ha⁻¹ de torta e 32 t.ha⁻¹ de cascalho foi o que apresentou o maior potencial de degradação das cadeias de hidrocarbonetos. Tanto para o Planossolo (Figura 24 A) quanto para o Argissolo (Figura 24B), apresentando respectivamente para o Planossolo percentuais de 79,68 % contra 78,12 % (5:64 Torta: cascalho) e 73,43 (40:32 Torta: cascalho); e para o Argissolo 81,25 % contra 80,46 % (5:64 Torta: cascalho) e 50 % (40:32 Torta: cascalho).

Pode-se perceber ainda que, para o Planossolo (Figura 24 A), a combinação de 40:32 representou justamente o tratamento que menos degradou as cadeias de hidrocarbonetos (73,43 %). Essa tendência se seguiu para o Argissolo (Figura 24B), onde a percentagem alcançou apenas 50% na mesma combinação de torta e cascalho. A literatura mostra que a biorremediação pode ser limitada se as condições do solo não forem favoráveis à sobrevivência e a atividade dos micro-organismos degradadores (Jacques et al., 2007). Isso mostra a dificuldade e a importância de se estabelecer uma dose máxima que possa ser aplicada ao solo, sem causar danos a biota do solo, desses resíduos combinados ou ainda do cascalho de perfuração, que é o objetivo central desse estudo.

3.7 CONCLUSÕES

Com a avaliação dos dados é possível concluir que:

- ✓ O resíduo orgânico utilizado (torta de mamona) contribuiu para a maior taxa de mineralização no experimento de respirometria e que as doses de cascalho não se diferenciaram, uma vez que ficaram agrupadas em função da dose de torta adotada.
- ✓ Os maiores valores para pH e sódio trocável no solo, foram obtidos nos substratos que continham a maior dose de cascalho de perfuração (64 t.ha^{-1}), independentemente do solo utilizado.
- ✓ A quantificação dos micro-organismos, junto com os teores totais de hidrocarbonetos, analisados mostrou a dificuldade de se estabelecer uma dose máxima que possa ser aplicada ao solo, sem causar alterações na população microbiana. Vale ressaltar que doses de cascalho não impactaram de forma negativa a quantificação dos grupos de micro-organismos.

CAPÍTULO III

4 USO DE CASCALHO EM ENSAIOS PRELIMINARES COM ESPÉCIES OLEAGINOSAS

4.1 RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar o uso de resíduos da indústria de energia com potencial para a agricultura, de forma conjunta, em ensaios de casa de vegetação com espécies oleaginosas, além de observar a contribuição destes na química do solo. Foram utilizados um resíduo orgânico (torta de mamona da produção direta da semente) e outro alcalino, rico em sais de sódio (cascalho de perfuração). Procederam-se incubações com tratamentos contendo doses de 16 t.ha^{-1} e 64 t.ha^{-1} de cascalho combinadas com 10 t.ha^{-1} de torta e um tratamento controle, com três repetições em horizontes superficiais de dois solos de textura contrastantes (Argissolo e Planossolo), em vasos fechados, com espécies oleaginosas (mamona e girassol) para verificar seu potencial como plantas bioindicadoras para ambientes salinos. Além disso, foi feita também, após a coleta de solo e plantas, a quantificação dos grupos de micro-organismos e, através de cromatografia gasosa os totais de hidrocarbonetos de petróleo em amostras dos substratos, além de análises químicas de terra. Os resultados mostraram que para o cultivo de oleaginosas em vasos fechados, em casa de vegetação, as doses adotadas estavam no limite do tolerável para ambas as espécies avaliadas e que aquelas crescidas nos substratos que continham a menor dose (16 t.ha^{-1}), foram as mais responsivas no ganho de massa seca e nos teores de nutrientes. Foi também observado que o alumínio tóxico foi reduzido a zero na medida em que se aumentavam as doses de cascalho nos substratos e que ocorreu também nestes, incremento significativo nos teores de Ca, Mg, K e Na. A contagem de microrganismos mostrou grande variação entre seus resultados, principalmente quando a comparação é feita entre bactérias e actinomicetos. Já, para os fungos, ficou claro que a contagem desses micro-organismos superou a dos outros dois grupos de micro-organismos mensurados. E, por fim, a degradação de compostos provenientes do fluido, avaliada por cromatografia gasosa, mostrou-se maior em amostras de Planossolo do que em amostras de Argissolo, tanto para o substrato onde cresceram girassóis quanto para os com plantas de mamona.

Palavras chave: Descontaminação. Oleaginosas. Plantas indicadoras.

4.2 ABSTRACT

This study aimed to evaluate the use of residues by energy industry with potential for agriculture, combined, in a greenhouse assays with oilseed species, in addition to observing their contribution in the soil chemistry. It was used one organic residue (castor bean cake produced directly from seed) and other alkaline, rich in sodium salts (drill cuttings). Incubations were conducted with treatments containing gravel doses of 16 Mg.ha⁻¹ and 64 Mg ha⁻¹ combined with 10 Mg ha⁻¹ of castor bean cake and a control with three repetitions in soil surface horizons of contrasting texture (Ultisol and Fragiudult soil) in closed vases, with oilseeds species (castor oil plant and sunflower) to determine their potential as bioindicators for saline environments. Furthermore, after the plants and soil sampling, it was quantified the micro-organisms groups and, by gas chromatography, the total petroleum hydrocarbons in the substrates samples, in addition to soil chemical analyzes. The results showed that for oilseed cultivation in closed vases, in the greenhouse, the doses adopted placed in the tolerable limit for both species evaluated and those which grew on substrates containing the lowest dose (16 Mg ha⁻¹) were the most responding in terms of dry mass gain and nutrient content. It was also observed that aluminum toxicity was reduced to zero as the gravel doses were increased in the substrates, also occurred in these a significant increase in Ca, Mg, K and Na. The counting of microorganisms showed a great variation of the results, especially when the comparison is made between bacteria and actinomycetes. On the other hand, for fungi, it became clear that their counting outperformed the other two groups of microorganisms measured. Finally, the degradation of compounds from the fluid, measured by gas chromatography, was higher in the samples of Fragiudult soil than in the Ultisol, for both the substrates where sunflowers and castor bean plants were growing.

Key words: Decontamination. Oilseeds. Indicator plants.

4.3 INTRODUÇÃO

Técnicas como a fitorremediação e a bioestimulação são utilizadas na biorremediação de áreas impactadas, sendo ambientalmente limpas, além de apresentarem baixo custo, onde a maior parte da energia gasta no processo é a solar, através da fotossíntese. A primeira é um processo em que plantas são utilizadas para descontaminar áreas contaminadas por metais pesados e poluentes orgânicos, a segunda técnica consiste em impulsionar a atividade dos micro-organismos degradadores de poluentes com a adição de nutrientes. A interação de espécies vegetais com os micro-organismos do solo pode contribuir para uma degradação mais rápida e eficaz dos contaminantes. Dessa forma, pode-se preconizar que o uso desta interação em conjunto com resíduos, pode ser ecologicamente e economicamente viável.

Este trabalho visa, portanto, apontar alternativas para o uso de resíduos da indústria de energia, não só os que já apresentam importantes coprodutos já largamente utilizados na agricultura (tortas), mas também os cascalhos que podem ser importantes como corretivos da acidez do solo, com foco no cultivo de oleaginosas (mamona e girassol), verificando ainda suas interações microbiológicas.

Para atender a esse objetivo foi verificado o potencial do cascalho de perfuração misturado com um resíduo orgânico (torta de mamona) no crescimento de espécies oleaginosas cultivadas em casa de vegetação, avaliando peso de massa seca, altura e teores de nutrientes da parte aérea e raiz, teores disponíveis de amostras dos substratos utilizados, após a coleta das plantas e suas interações microbiológicas, através da quantificação de grupos de micro-organismos.

4.4 REVISÃO DE LITERATURA

4.4.1 Salinização dos solos e potencial de novas espécies como plantas indicadoras

Nas últimas décadas vem aumentando a concorrência para uso do solo devido à demanda industrial, comercial e residencial. As áreas produtivas são instáveis e sujeitas a constante degradação e a salinização foi identificada como um fator preponderante na degradação dos solos agrícolas (Barkla et al., 2007). A salinidade do solo já existia muito antes dos seres humanos e da agricultura, mas o problema foi agravado por práticas agrícolas, como a irrigação. Hoje, aproximadamente 20% das terras cultivadas no mundo e quase metade de todas as terras irrigadas são afetadas pela salinidade. Altas concentrações de sais podem causar desequilíbrio de íons e estresse osmótico nas plantas cultivadas (Zhu, 2001). O sódio é o principal componente da salinidade dos solos, a qual consiste, por sua vez, em uma das principais condições ambientais adversas que reduzem a produtividade das lavouras (Voight, 2008).

Os efeitos da salinidade atuam na diminuição do crescimento das plantas, no decréscimo da área foliar e também menor acúmulo de massa fresca e massa seca tanto da parte aérea como das raízes. Tais efeitos são reflexos, dentre outros fatores, de reduções na fotossíntese, respiração, transpiração e translocação, além de um desbalanço hídrico e/ou iônico no interior da planta (Larcher, 2000; Zhu, 2003).

A fitorremediação é uma estratégia de biorremediação que consiste de procedimentos que envolvem emprego de plantas e sua microbiota associada e de amenizantes do solo, além de práticas agrônômicas que se aplicadas em conjunto, removem, imobilizam ou tornam os contaminantes inofensivos ao ecossistema (Accioly & Siqueira, 2000).

De acordo com Qadir e colaboradores (1998) essa técnica pode ser empregada em solo sódico ou salino-sódico, onde o contaminante é o sal e/ou o sódio. Neste caso, a técnica empregada, seria a fitoextração, utilizando espécies de plantas que absorvam e acumulem o sal e o sódio na parte aérea.

Técnicas de recuperação de solos com sais em excesso são de grande importância, à medida que possibilitam o seu retorno ao processo de produção. Contudo a correção e o manejo de solos afetados por sais vão depender do tipo de problema ao qual estão associados, em termos de sais solúveis e Na trocável. Quando o solo é apenas salino, a correção limita-se à lixiviação dos sais associada a um sistema de drenagem que propicie a retirada dos sais em excesso do perfil do solo. Já no caso de os teores de Na trocável estarem elevados (solos sódicos), faz-se necessária a substituição deste por outro cátion, sendo o Ca o mais utilizado. A correção baseia-se no fornecimento de um sal de Ca ao solo para que este possibilite a saída do Na do complexo de troca, que será lixiviado com uma lâmina de lixiviação e de um sistema de drenagem para a retirada do Na do perfil do solo (Freire & Freire, 2007).

Com o objetivo de avaliar o potencial de *Atriplex nummularia* na fitorremediação de solo salino-sódico sob irrigação com águas salinas e verificar o potencial do gesso como potencializador da fitoextração de Na, Leal e colaboradores (2008) montaram um experimento em casa de vegetação, em esquema fatorial 2 x 3, sendo dois tratamentos com gesso de jazida (ausência, e aplicação de 50 % da dose recomendada pela necessidade de gesso) e três classes de água para irrigação (C1 = 175 dS cm⁻¹; C2 = 500 dS cm⁻¹ e C3 = 1500 dS cm⁻¹). Foram realizadas avaliações dos teores de Na, no solo e na planta, aos 40, 70, 100 e 130 dias do transplantio da *A. nummularia*. O gesso proporcionou ganho médio de 96 % na massa seca de raiz. O teor de Na nas folhas foi significativo a partir da terceira época avaliada com valores de 90,1 e 109,7 g kg⁻¹, para 100 e 130 dias após o transplantio, respectivamente.

Este efeito foi aumentado em 30 % com a aplicação de gesso. O teor de Na no solo foi menor em média 31 e 26 %, com e sem gesso, respectivamente, a partir de 100 dias após o transplântio. Os autores concluíram que a *Atriplex nummularia* comportou-se como planta hiperacumuladora de Na, com potencial de uso na fitoextração deste elemento no solo.

Segundo Andrade et al. (2007), a fitorremediação vem sendo utilizada com um especial destaque em casos de poluição por derivados de petróleo, pois no mundo moderno, um enorme volume desses compostos é produzido, industrializado, transportado e consumido, constituindo um grupo de grande incidência na contaminação ambiental.

Visando a maximização da utilização da fitorremediação para áreas contaminadas, devem ser incentivados novos estudos para a identificação das principais espécies fitorremediadoras e seus mecanismos de atuação, principalmente de espécies tropicais para uso no Brasil, uma vez que grande parte dos trabalhos é realizada com espécies de clima temperado.

Portanto, existe no Brasil uma perspectiva francamente favorável ao crescimento da demanda por tecnologias de remediação ambiental, entre as quais a fitorremediação, que deverá despontar em muitas situações pela viabilidade técnica e econômica de sua aplicação.

4.4.2 Interações entre plantas e micro-organismos

Os métodos biológicos de remediação baseiam-se no fato de que os micro-organismos têm a possibilidade de metabolizar compostos químicos e tanto o solo quanto as águas subterrâneas contêm elevado número de micro-organismos que gradualmente se adaptam às fontes de energia e de carbono disponíveis. As técnicas de biorremediação usando plantas e micro-organismos têm sido amplamente utilizadas na recuperação de solos contaminados com óleo cru, porque transformam, através de processos naturais, esses compostos em substâncias inócuas. No entanto, o grau de descontaminação irá depender da natureza e concentração do poluente presente, assim como as características do solo (Autry & Ellis, 1992; Del`Arco, 1999; Adeniny & Afolabi, 2002; Millioli, & Oliveira, 2005). De acordo com Seabra (2001) muitos fatores influenciam a biodegradação dos hidrocarbonetos, entre eles, o autor destaca a composição química, a concentração, o estado físico e a toxicidade.

4.5 MATERIAL E MÉTODOS

4.5.1 Ensaio com oleaginosas

Os tratamentos que proporcionaram maiores respostas para a medição da atividade microbiológica (VER CAPÍTULO II) foram usados em ensaios com espécies vegetais oleaginosas (*Helianthus annuus* - girassol e *Ricinnus comunis* - mamona) para avaliar o efeito do crescimento dessas espécies em substratos com diferentes doses de cascalho e correlacionar com a atividade microbiana. Assim, de acordo com os resultados preliminares, foram determinadas para o experimento com plantas, em casa de vegetação, as seguintes doses: 0 de torta e 0 de cascalho (controle); 10 de torta com 16 de cascalho e 10 de torta e 64 de cascalho. Todas as doses em t.ha⁻¹. Foram também usados os mesmos substratos – material de solo de textura arenosa e argilosa- (Tabela 21), totalizando seis tratamentos, com três repetições cada, perfazendo um total de 36 vasos.

O experimento foi conduzido em estufa do Departamento de Solos, do Instituto de Agronomia da UFRRJ, em vasos fechados com volume igual a 0,0042 m³. A partir do horizonte superficial, foram pesados 5 kg de amostras de Planossolo e 4 kg de amostras do Argissolo (caracterizados e descritos no capítulo II). Foi mantida em 70% a capacidade máxima de retenção de umidade, de forma constante durante toda a condução do experimento.

O plantio se deu por sementes, diretamente nos vasos, no dia 06 de julho de 2011. Foram utilizadas 5 sementes por vaso e após a emergência das plântulas, fez-se o desbaste de forma a se deixar apenas uma planta por vaso.

4.5.2 Coleta e análise das plantas

A medição da altura das plantas foi feita semanalmente até a coleta das plantas. Aos 70 dias após semeio, as plantas foram coletadas e segmentadas em parte aérea e raiz. O material foi coletado e a quantidade de massa seca da parte aérea e da raiz mensurados. Os teores totais de N, P e K no tecido vegetal foram analisados, seguindo a metodologia proposta por Tedesco et al. (1995).

4.5.3 Coleta e análises dos substratos utilizados

Aos 70 dias após plantio, na coleta das plantas, foram tomadas amostras representativas do solo em cada vaso. Nas amostras foram determinados teores de: Ca, Mg, K e Al trocáveis, P assimilável, C orgânico e pH em H₂O na proporção 1:2,5 (solo:água), e os valores T, S e H segundo metodologia da EMBRAPA (1997). Também foram determinados teores totais de Na e K no solo, seguindo metodologia de Tedesco e colaboradores (1995), além dos totais de hidrocarbonetos de petróleo (USEPA 8015B).

4.5.4 Análises da quantificação dos grupos de micro-organismos

As análises foram feitas logo após a coleta de solo nas unidades experimentais no Laboratório de Bacteriologia e Micologia do Instituto de Veterinária da UFRRJ. O restante do procedimento foi todo descrito no item 3.5.2, capítulo II, deste estudo.

4.5.5 Análises estatísticas dos dados

Os dados foram avaliados quanto à homogeneidade e normalidade das amostras, seguidas de análise de variância e as médias então, foram comparadas utilizando Teste *Tukey* a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa estatístico SAEG (2007) versão 9.1.

4.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.6.1 Ensaio com oleaginosas

A Figura 25 mostra o monitoramento da biometria das plantas de girassol e mamona durante os 70 dias de condução do experimento em amostra de horizonte superficial de um Argissolo com doses de torta de mamona e cascalho de perfuração.

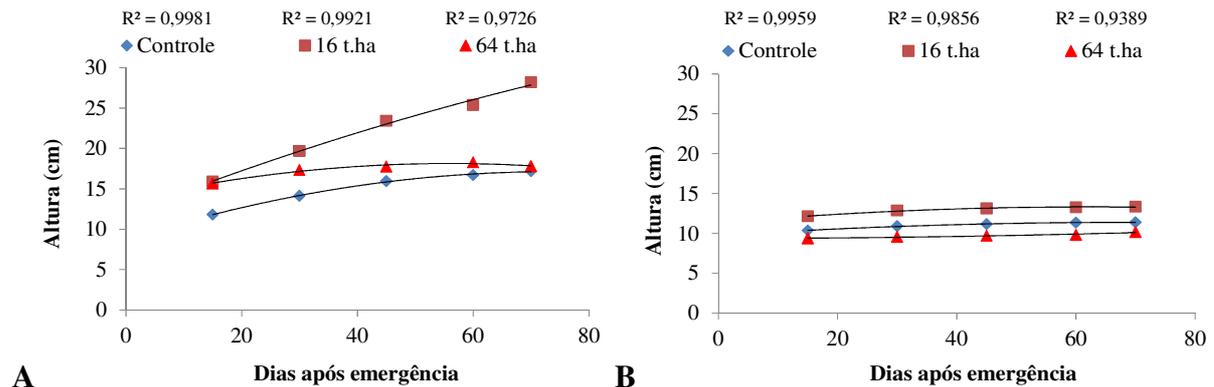


Figura 25. Altura de plantas de girassol (A) e mamona (B) crescidas em vasos com amostras de horizonte superficial de um Argissolo contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona.

As plantas de girassol tiveram maior crescimento quando comparadas com as plantas de mamona. O maior crescimento foi verificado nas plantas que receberam 16 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração (Figura 25). As plantas de mamona tiveram um crescimento muito baixo. Quase não diferindo entre os tratamentos testados (Figura 25).

A Figura 26 mostra o monitoramento da biometria das plantas de girassol e mamona durante os 70 dias de condução do experimento em amostra de horizonte superficial de solo de textura arenosa (Planossolo).

Observando a Figura 26 é possível perceber que as plantas de girassol obtiveram os maiores valores para a variável altura em relação às plantas de mamona submetidas ao mesmo tratamento. Ocorreu uma sensível diferença entre as alturas das plantas de girassol quando comparados os tipos de solos onde essas plantas cresceram. As plantas cultivadas no Planossolo obtiveram maior ganho de altura, comparadas com as crescidas em amostras de Argissolo (Figura 25 e Figura 26). Percebe-se também que o tratamento de 16 t.ha⁻¹ de cascalho foi o que apresentou melhor resposta em relação ao tratamento de 64 t.ha⁻¹, tanto para Argissolo quanto para Planossolo, quando comparados ao controle (Figura 25 e Figura 26).

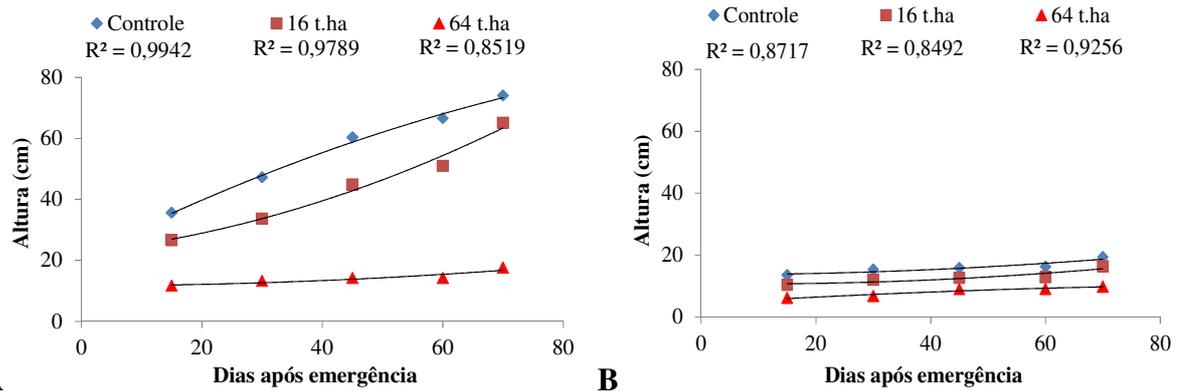


Figura 26. Altura de plantas de girassol (A) e mamona (B) crescidas em amostras de horizonte superficial de um Planossolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona.

A fotografia das plantas no dia da coleta do experimento (Figura 27) não deixa dúvida sobre o melhor desempenho das plantas cultivadas no Planossolo.

A Figura 28 mostra o peso (em gramas) de massa seca da parte aérea (Figura 28A) e a massa seca de raiz (Figura 28B) de plantas de girassol cultivadas em Argissolo com diferentes doses de resíduos da indústria de energia. Verifica-se que o tratamento que recebeu 16 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração, proporcionou os maiores pesos (em gramas) tanto para parte aérea quanto para as raízes.

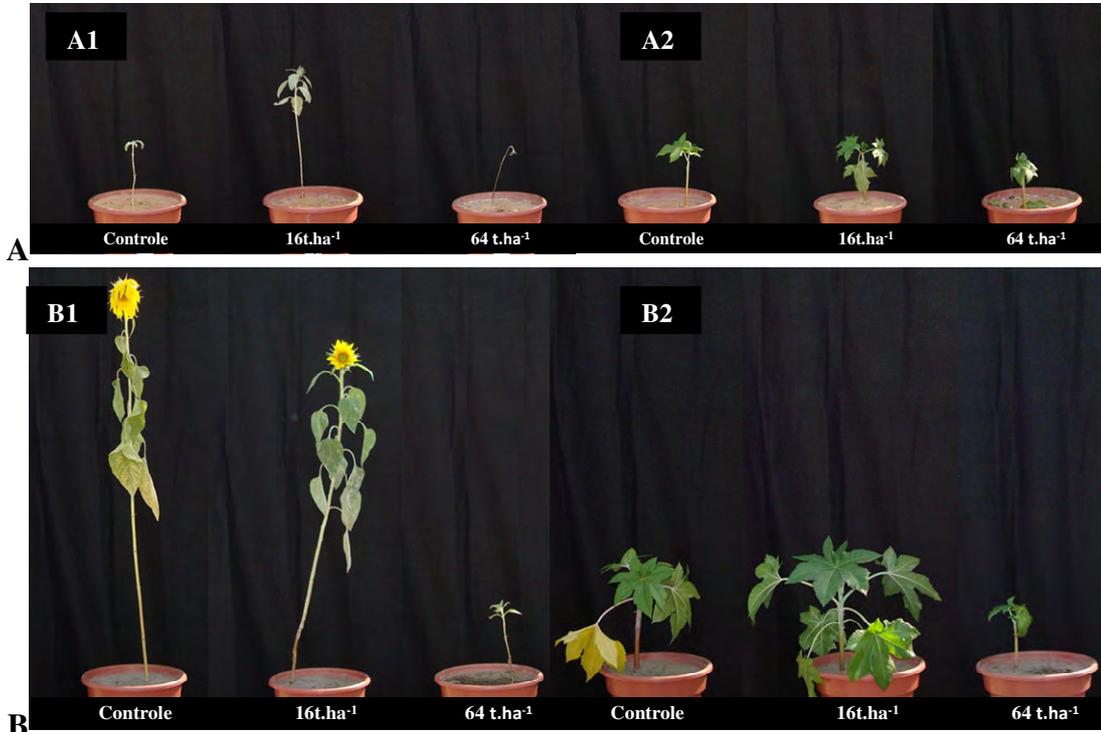


Figura 27 Plantas de girassol (1) e mamona (2) crescidas em substrato com amostra superficial de um Argissolo (A) e um Planossolo (B), aos 70 dias de cultivo em vasos fechados, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona.

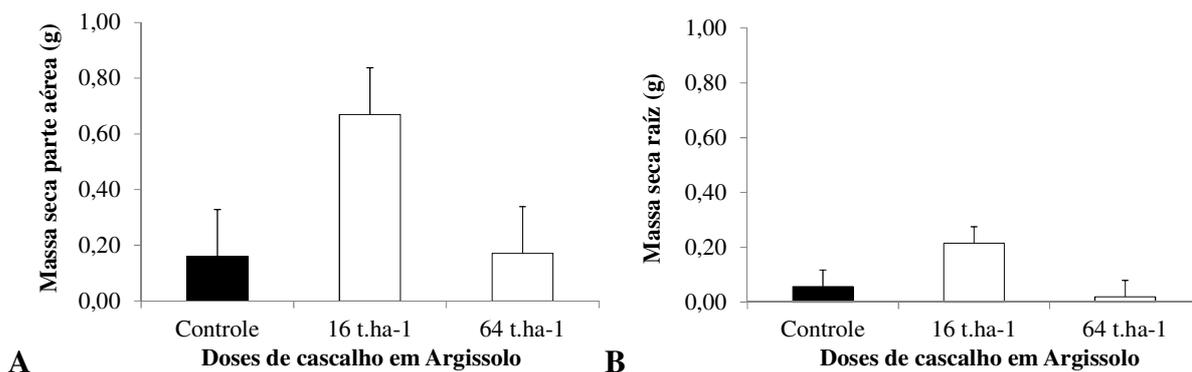


Figura 28. Massa seca (em gramas) da parte aérea (A) e de raízes (B) de plantas de girassol, crescidas em amostras de horizonte superficial de um Argissolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona. As barras verticais indicam o erro padrão da média.

A Figura 29 mostra o peso (em gramas) de massa seca da parte aérea (Figura 29A) e a massa seca de raiz (Figura 29B) de plantas de mamona cultivadas em Argissolo com diferentes doses de resíduos da indústria de energia. Verifica-se que o tratamento que recebeu 16 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração, proporcionou o maior ganho de massa seca (em gramas) na parte aérea. Já para as raízes, o maior ganho foi encontrado no controle.

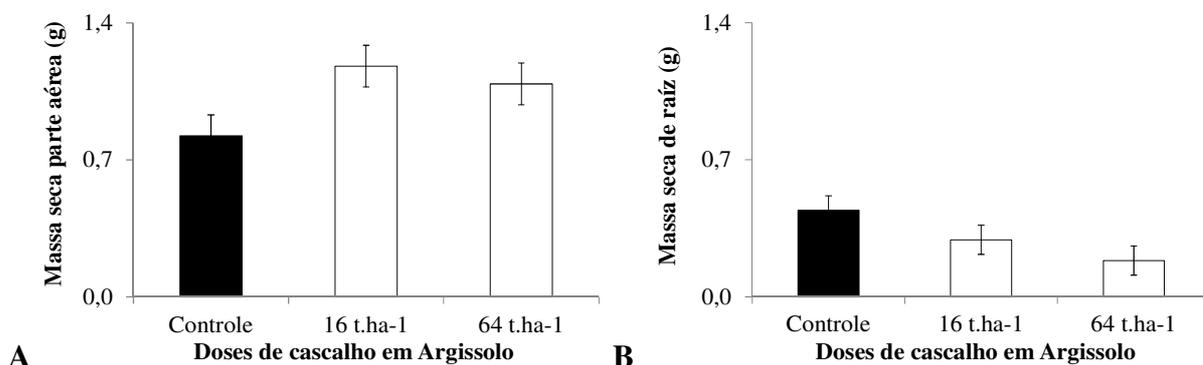


Figura 29. Massa seca (em gramas) da parte aérea (A) e de raízes (B) de plantas de mamona, crescidas em amostras de horizonte superficial de um Argissolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona. As barras verticais indicam o erro padrão da média.

Para as duas oleaginosas cultivadas em amostras superficiais do Planossolo, as diferenças entre o tratamento que recebeu a menor dose de cascalho e aquele que recebeu a maior dose (16 e 64 t.ha⁻¹) foram mais acentuadas. Tanto o girassol quanto a mamona (Figura 30) e (Figura 31), respectivamente, mostraram diferenças entre os tratamentos. Principalmente quando se compara o controle aos outros dois tratamentos (16 e 64 t.ha⁻¹).

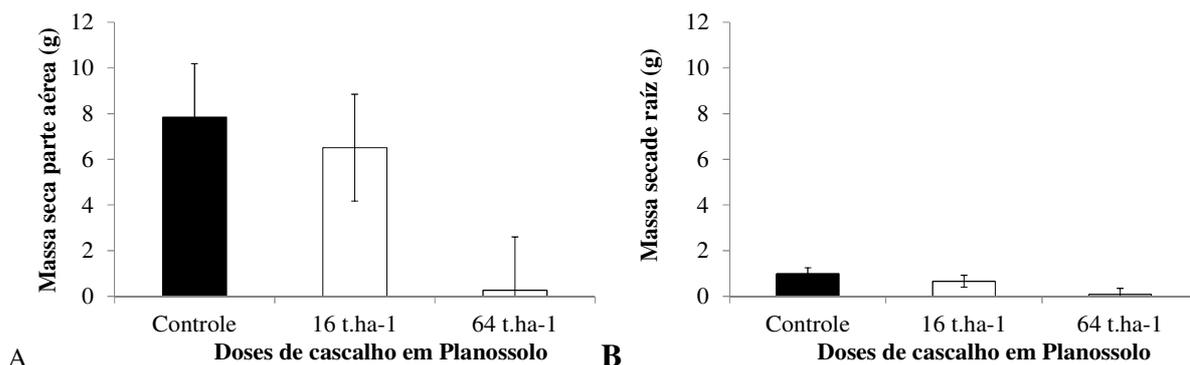


Figura 30. Massa seca (em gramas) da parte aérea (A) e de raízes (B) de plantas de girassol, crescidas em amostras de horizonte superficial de um Planossolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona. As barras verticais indicam o erro padrão da média.

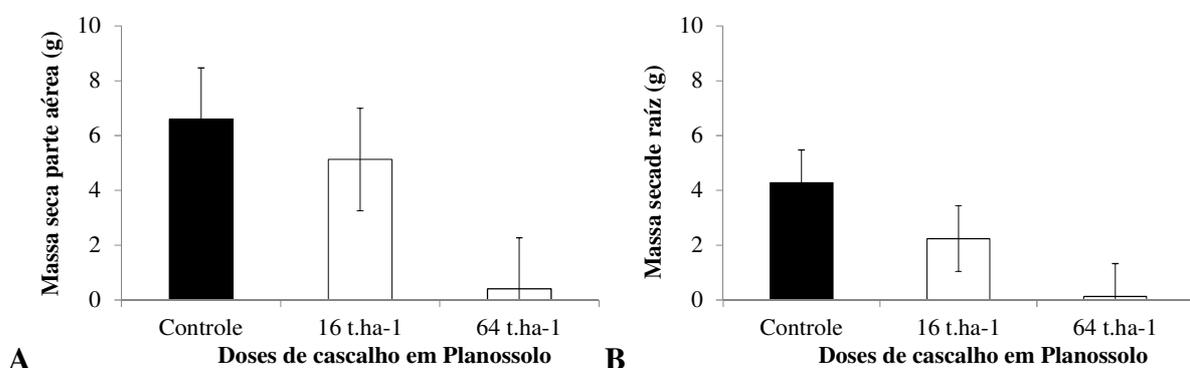


Figura 31. Massa seca (em gramas) da parte aérea (A) e de raízes (B) de plantas de mamona, crescidas em amostras de horizonte superficial de um Planossolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona. As barras verticais indicam o erro padrão da média.

A Figura 32 mostra os teores de nitrogênio, fósforo e potássio em (g.kg⁻¹) da parte aérea (Figura 32A) e de raízes (Figura 32B) de plantas de girassol cultivadas em substrato de textura argilosa.

É possível perceber que os teores de N são maiores na parte aérea (A) que nas raízes (B), isso pode ser explicado pelo fato do nitrogênio ser um nutriente muito móvel nas plantas. Na parte aérea o maior teor de N foi observado no tratamento com 16 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração e na raiz o mesmo foi observado para a dose 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração. Os teores de fósforo encontrados nas raízes foram maiores que os da parte aérea, destacando-se o tratamento com 64 t.ha⁻¹ de cascalho e na parte aérea os teores encontrados foram o mesmo para todos os tratamentos. Para o potássio os valores encontrados tanto na parte aérea quanto na raiz, foram maiores no tratamento com dose de 16 t.ha⁻¹ de cascalho.

A Figura 33 apresenta os teores de nitrogênio, fósforo e potássio em (g.kg⁻¹) da parte aérea (A) e de raízes (B) de plantas de mamona cultivadas em substrato de textura argilosa.

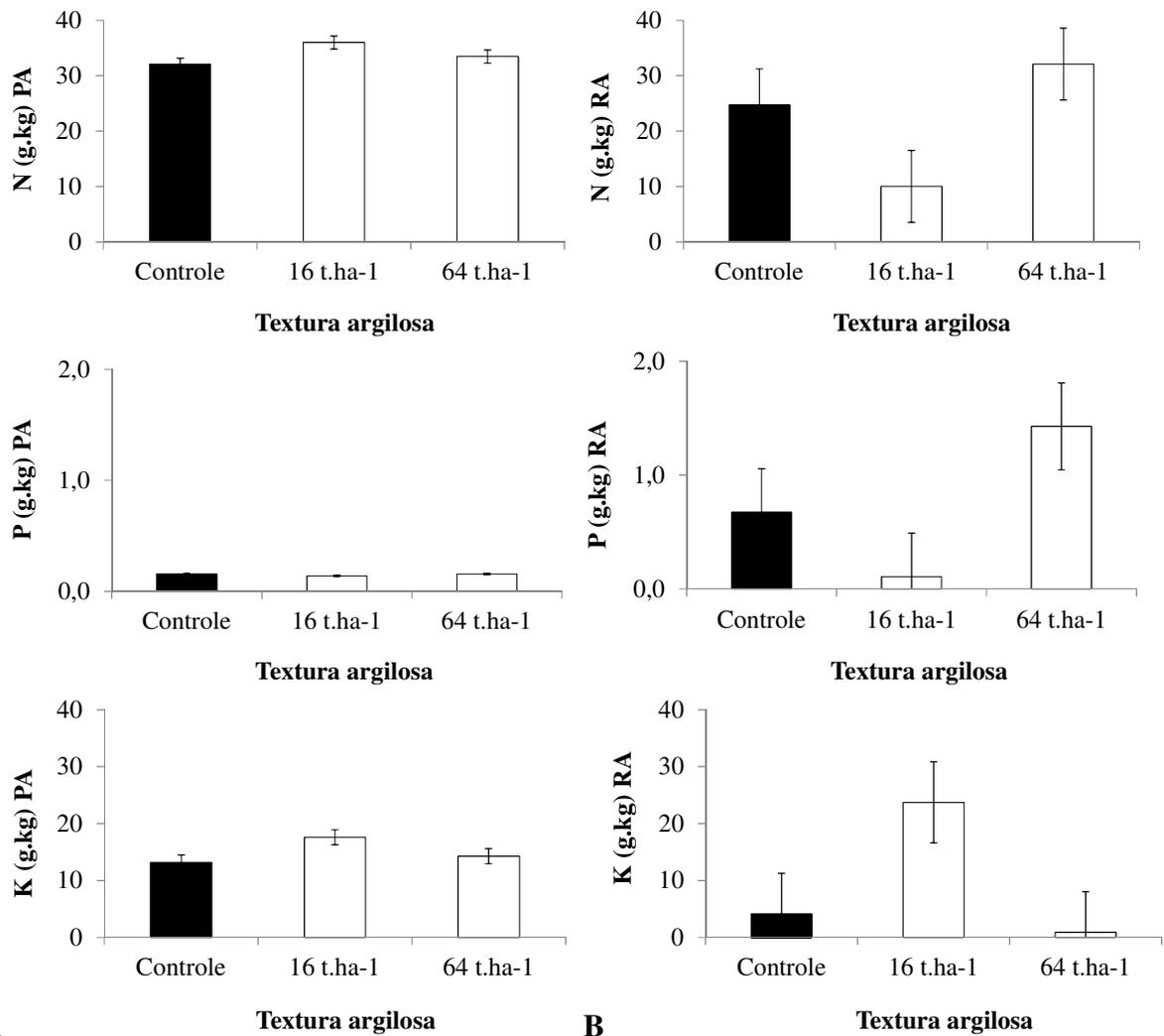


Figura 32. Teores de N, P e K na parte aérea (PA) (A) e raiz (RA) (B) de plantas de gissorol crescidas em amostras de horizonte superficial de um Argissolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona. As barras verticais indicam o erro padrão da média.

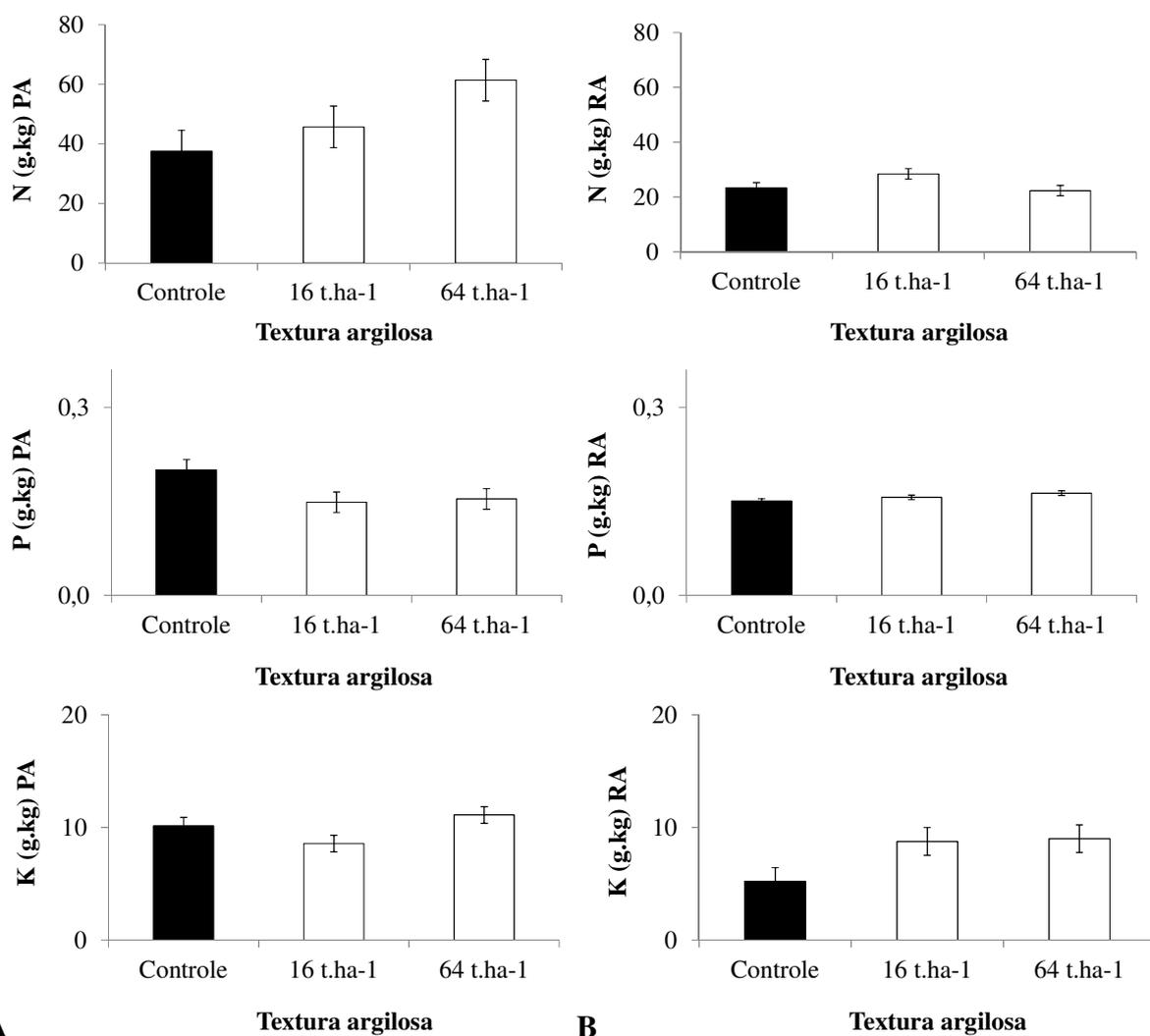


Figura 33. Teores de N, P e K na parte aérea (A) e raiz (B) de plantas de mamona crescidas em amostras de horizonte superficial de um Argissolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona. As barras verticais indicam o erro padrão da média.

É possível perceber que os teores de N são maiores na parte aérea (Figura 33A) que nas raízes (Figura 33B). Na parte aérea o maior teor de N foi observado no tratamento com 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração e na raiz o mesmo foi observado para a dose 16 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração. Os teores de fósforo encontrados apresentaram o mesmo comportamento em resposta às doses aplicadas na parte aérea e na raiz. Para o potássio, os valores encontrados, foram maiores tanto na parte aérea quanto na raiz, no tratamento que continha dose de 64 t.ha⁻¹ de cascalho.

Na Figura 34 são apresentados os teores de nitrogênio, fósforo e potássio em (g.kg⁻¹) da parte aérea (Figura 34A) e de raízes (Figura 34B) de plantas de girassol cultivadas em substrato de textura arenosa.

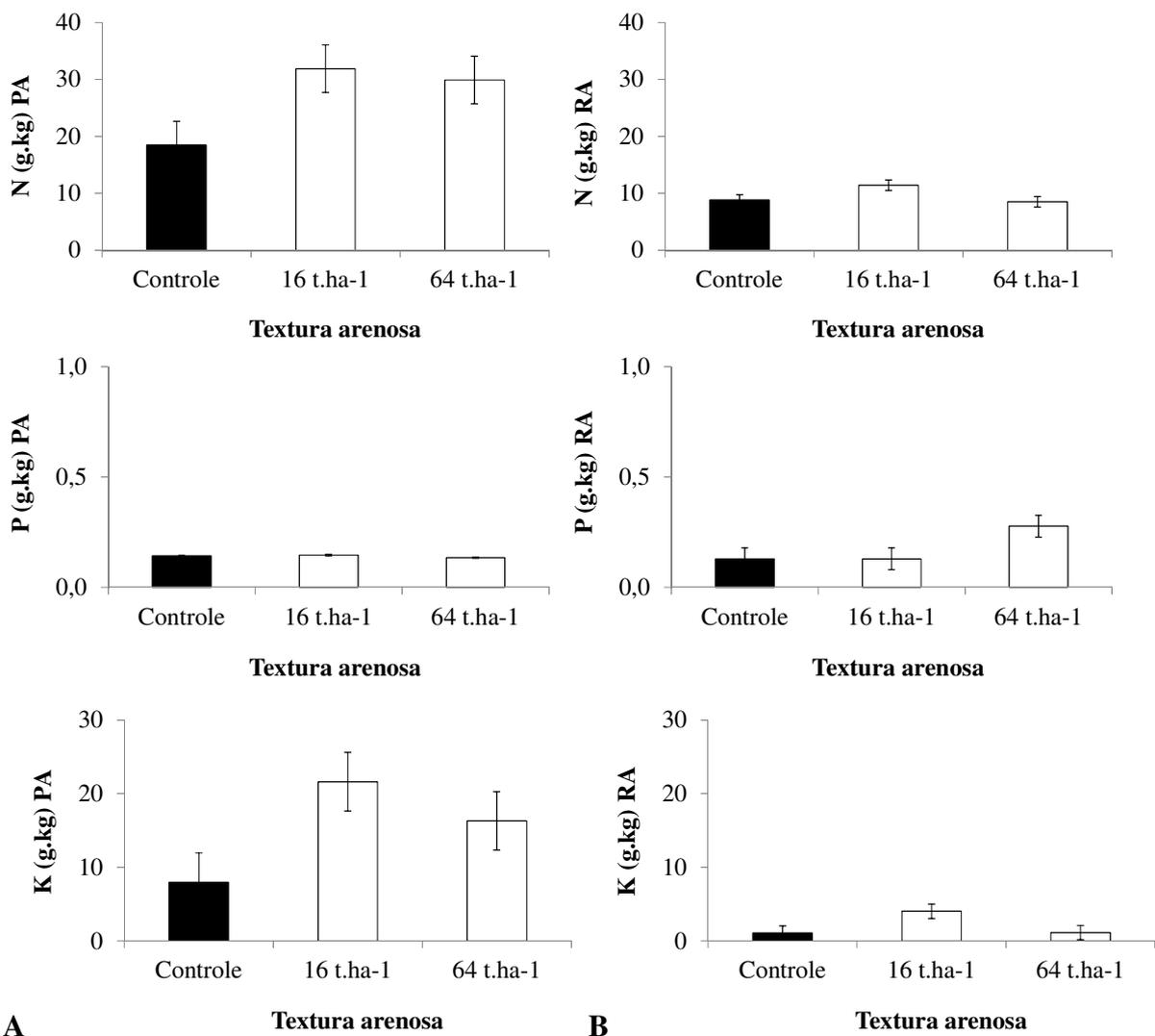


Figura 34. Teores de N, P e K na parte aérea (A) e raiz (B) de plantas de girassol crescidas em amostras de horizonte superficial de um Planossolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona. As barras verticais indicam o erro padrão da média.

É possível perceber que os teores de N são maiores na parte aérea (Figura 34A) que nas raízes (Figura 34B). Tanto na parte aérea quanto na raiz o maior teor de N foi observado no tratamento com 16 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração. Os teores de fósforo encontrados nas raízes foram maiores que os da parte aérea, somente no tratamento com 64 t.ha⁻¹ de cascalho e na parte aérea os teores encontrados foram o mesmo para todos os tratamentos. Para o potássio os valores encontrados foram maiores na parte aérea e tanto na parte aérea quanto na raiz destacou-se o tratamento com dose de 16 t.ha⁻¹ de cascalho.

Na Figura 35 são apresentados os teores de nitrogênio, fósforo e potássio em (g.kg⁻¹) da parte aérea (A) e de raízes (B) de plantas de mamona cultivadas em substrato de textura arenosa.

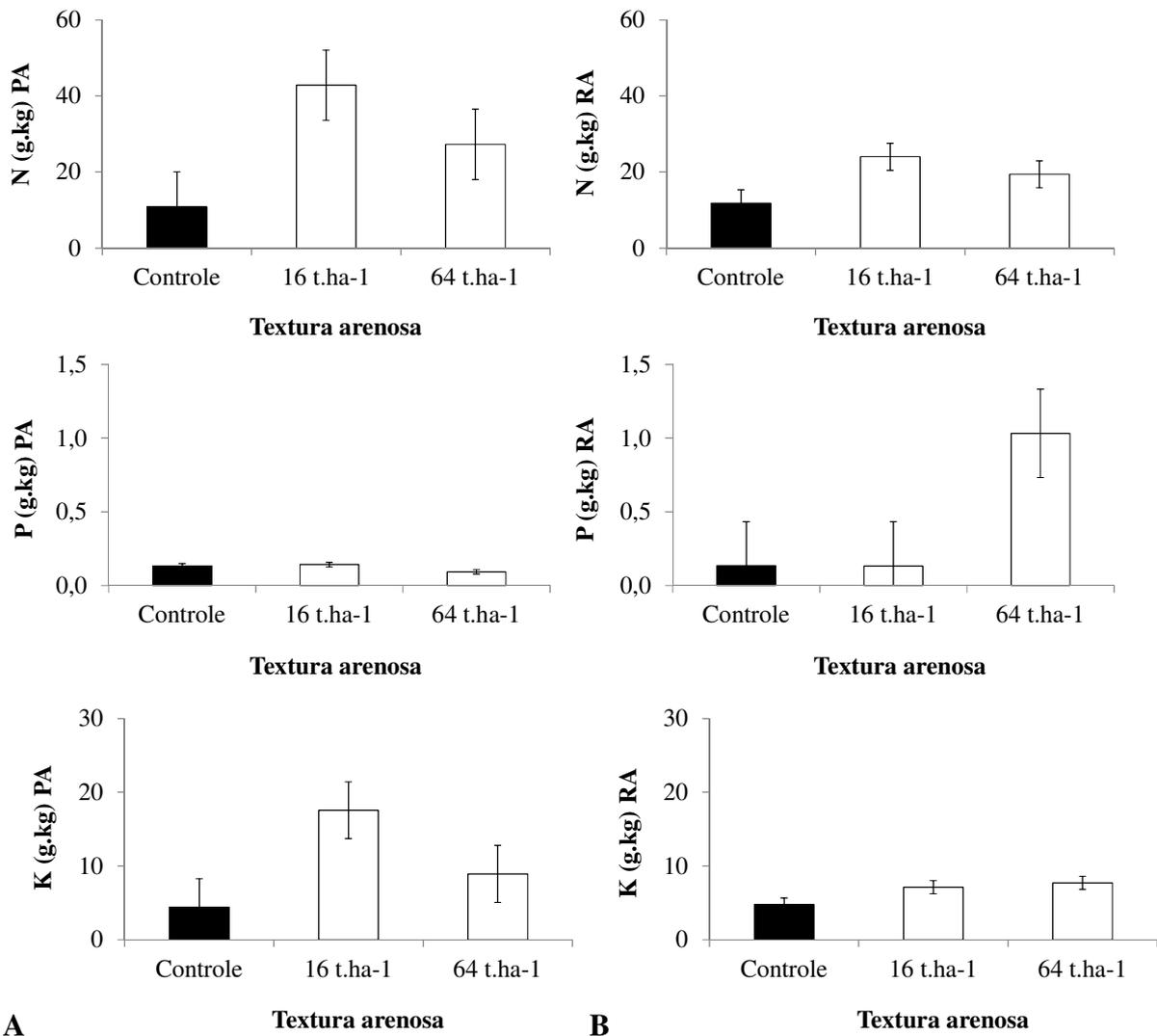


Figura 35. Teores de N, P e K na parte aérea (A) e raiz (B) de plantas de mamona crescidas em amostras de horizonte superficial de um Planossolo, contendo tratamento controle e doses de 16 t.ha⁻¹ e 64 t.ha⁻¹ de cascalho de perfuração combinadas com 10 t.ha⁻¹ de torta de mamona. As barras verticais indicam o erro padrão da média.

Observando a Figura 35 é possível verificar que o tratamento que recebeu 16 t.ha⁻¹ de cascalho obteve os maiores teores de nitrogênio e potássio, na parte aérea, quando comparados com aquele que recebeu a maior dose de cascalho (64t.ha⁻¹). Comportamento semelhante a outra oleaginosa testada (Figura 34) e também nas plantas que cresceram em substrato mais argiloso (Figura 32), com exceção para a mamona (Figura 33). Os teores de fósforo, estiveram baixos para todos os tratamentos propostos, independente do substrato utilizado, havendo um leve aumento nas raízes (Figura 32) (Figura 33) e (Figura 34).

4.6.2 Resultado das análises químicas dos substratos utilizados

As tabelas 23, 24, 25 e 26 apresentam os resultados encontrados para as análises químicas dos substratos onde cresceram plantas de mamona e girassol. As tabelas 23 e 24 mostram esses resultados em solo argiloso e as tabelas 25 e 26 em solo arenoso.

Tabela 23. Análise química do substrato de textura argilosa após a coleta das plantas de girassol

Tratamento	pH	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	P	C
cmol _c dm ³								mg L ⁻¹	%
Argissolo									
Controle	4,8 a	0,5 c	0,1 c	0,1 b	0,2 c	0,9 a	5,1 a	0,7 a	1,1 a
16 t.ha ⁻¹	5,1 a	1,5 b	0,4 b	0,2 a	2,6 b	0,2 b	4,1 b	0,4 b	1,0 a
64 t.ha ⁻¹	6,6 a	3,5 a	0,7 a	0,2 a	7,3 a	0,0 c	1,2 c	0,0 c	1,0 a

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste *Tukey* ($p < 5$).

Observando a Tabela 23 é possível enxergar um claro incremento nas bases, com aumento significativo a 5% para o teste *Tukey*, nos valores de Ca, K, Na e Mg, com redução dos teores de alumínio e aumento na faixa de pH, saindo de 4,8 para 6,6, à medida em que se aumentava as doses do cascalho de perfuração, quando comparados com o controle. Outro resultado interessante apresentado na Tabela 23 é a redução do teor de alumínio tóxico, saindo de 0,9 cmol_c .dm³ para 0,2 e 0,0 cmol_c .dm³ nas doses 16 e 64 t.ha⁻¹, respectivamente, sendo este resultado estatisticamente significativo para o teste aplicado (Tabela 23).

Tabela 24. Análise química do substrato de textura argilosa após a coleta das plantas de mamona

Tratamento	pH	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	P	C
cmol _c dm ³								mg L ⁻¹	%
Argissolo									
Controle	4,9 a	0,6 c	0,2 a	0,1 b	0,2 c	0,7 a	5,2 a	0,0 a	1,3 a
16 t.ha ⁻¹	5,2 a	1,4 b	0,3 a	0,1 b	2,1 b	0,1 b	3,9 b	0,0 a	1,1 a
64 t.ha ⁻¹	6,6 a	3,6 a	0,5 a	0,2 a	9,4 a	0,0 b	0,7 c	0,0 a	1,1 a

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste *Tukey* ($p < 5$).

Entretanto, observando os resultados encontrados para a análise de fósforo (Tabela 24) é possível perceber que este elemento limitou o crescimento das plantas de mamona nas amostras de terra oriundas do Argissolo (Figura 27 A). Aliado a este fator, é preciso destacar que em função dos fluidos de perfuração serem empregados, entre outras funções, para conferir um efeito selante às paredes do poço e manter sua integridade, evitando desmoronamento, é possível inferir que quanto menos estruturado for o material atravessado, maior será a ação dos fluidos. Essa ação pode ter sido potencializada nas amostras superficiais de Argissolo (mais argila), o que pode ter gerado maior compactação, maior dificuldade de infiltração de água e por consequência, maior dificuldade de crescimento das raízes, prejudicando o desenvolvimento das plantas que cresceram nesses substratos.

A Tabela 24 mostra um comportamento semelhante àquele observado na Tabela 23 diferindo apenas nos teores de Mg, que independente do aumento das doses de cascalho não apresentaram diferença significativa, em relação ao controle.

Entretanto ocorreu redução do alumínio na medida em que se aumentavam as doses combinadas dos resíduos de energia (Tabela 24), a mesma tendência e resultado, já comentado, na Tabela 23.

Tabela 25. Análise química do substrato de textura arenosa após a coleta das plantas de girassol

Tratamento	pH	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	P	C
				cmol _c dm ³				mg L ⁻¹	%
Planossolo									
Controle	5,4 a	0,9 c	0,0 c	0,1 a	0,0 c	0,2 a	2,3 a	0,0 a	1,3 a
16 t.ha ⁻¹	5,8 a	1,5 b	0,3 b	0,0 b	1,5 b	0,0 b	1,5 b	0,0 a	1,3 a
64 t.ha ⁻¹	7,3 a	2,6 a	0,4 a	0,0 b	7,0 a	0,0 b	0,0 c	0,0 a	1,2 a

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste *Tukey* ($p < 5$).

É possível verificar que as maiores faixas de pH foram alcançadas nos substratos que continham solo mais arenoso, quando comparados com os de textura argilosa. Embora não sejam diferentes estatisticamente, a 5% de probabilidade pelo teste *Tukey*, a faixa de pH nos vasos onde cresceram girassol e mamona, saíram de 5,4 para 7,3 (Tabela 25). Exatamente o que ocorreu como observado na Tabela 26 onde a faixa saiu de 5,6 para 7,3.

Mais uma vez, o cálcio apresentou valor crescente à medida em que se aumentou a dose testada. Mg e K não apresentaram resultados estatisticamente significativos (Tabela 26). Entretanto, mais uma vez, como em todos os outros substratos avaliados o alumínio teve redução significativa e igual a zero quando doses de cascalho e torta de mamona foram adicionadas nos tratamentos (Tabela 26).

Tabela 26. Análise química do substrato de textura arenosa após a coleta das plantas de mamona

Tratamento	pH	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	P	C
				cmol _c dm ³				mg L ⁻¹	%
Planossolo									
Controle	5,6 a	0,7 c	0,0 a	0,0 a	0,0 c	0,2 a	2,3 a	0,0 b	1,5 a
16 t.ha ⁻¹	6,1 a	1,3 b	0,2 a	0,0 a	1,3 b	0,0 b	1,4 b	0,0 b	1,2 a
64 t.ha ⁻¹	7,3 a	2,7 a	0,5 a	0,0 a	7,2 a	0,0 b	0,2 c	0,7 a	0,0 b

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste *Tukey* ($p < 5$).

A Tabela 27 mostra os teores totais de sódio e potássio nos substratos utilizados nos experimentos com as plantas de girassol. Nota-se que à medida que as doses de cascalho aumentam, há um incremento nos teores totais de sódio e potássio, quando comparados ao controle. Sendo o potássio o elemento que apresentou os maiores valores.

A Tabela 28 mostra os teores totais de sódio e potássio nos substratos utilizados nos experimentos com plantas de mamona.

Tabela 27. Teores totais de K e Na (mg.kg^{-1}) em substratos onde cresceram plantas de girassol cultivadas em substratos de textura contrastante

Tratamento	K total	Na total	Tratamento	K total	Na total
mg kg^{-1}			mg kg^{-1}		
Argissolo			Planossolo		
Controle	157,9 c	0,0b	Controle	210,2 c	0,0 b
16 t.ha ⁻¹	253,8 b	5,2b	16 t.ha ⁻¹	262,5 b	1,4 b
64 t.ha ⁻¹	367,2 a	35,8 a	64 t.ha ⁻¹	402,1 a	34,2 a

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste *Tukey* ($p < 5$).

Tabela 28. Teores totais de K e Na (mg.kg^{-1}) em substratos onde cresceram plantas de mamona cultivadas em substratos de textura contrastante

Tratamento	K total	Na total	Tratamento	K total	Na total
mg kg^{-1}			mg kg^{-1}		
Argissolo			Planossolo		
Controle	184,0 c	0,0 c	Controle	236,4 c	0,7 b
16 t.ha ⁻¹	253,8 b	6,9 b	16 t.ha ⁻¹	288,7 b	2,0 b
64 t.ha ⁻¹	437,0 a	43,8 a	64 t.ha ⁻¹	480,6 a	35,8 a

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste *Tukey* ($p < 5$).

Na medida em que as doses de cascalho aumentam, aumentam os teores totais de Na e K, quando comparados ao controle (Tabela 28). Sendo o potássio o elemento que apresentou os maiores valores. Esse comportamento foi semelhante ao verificado na Tabela 27.

4.6.3 Quantificação dos grupos de micro-organismos

A Figura 36 apresenta a quantificação de fungos (em Log de UFC.g⁻¹ de solo) em substratos onde cresceram plantas de girassol (A) e mamona (B). Aqui, analisadas as espécies nos dois diferentes substratos.

A contagem de fungos (em Log de UFC.g⁻¹ de solo), tanto para girassol quanto para mamona, em ambos os solos avaliados, mostrou-se praticamente a mesma para todos os tratamentos testados, não havendo diferenciações visíveis entre as doses combinadas de cascalho e torta, e o controle (Figura 36).

Fraga e colaboradores (2010) que, em trabalho com seleção e isolamento de fungos a partir de solos contaminados com óleo bruto, haviam descrito que após um período de crescimento das plantas igual a 47 dias, ocorreria um decréscimo na população de fungos em função dos tratamentos que continham óleo, quando comparados ao tratamento controle. Comparando os resultados dos autores com aqueles apresentados na Figura 36, é possível perceber que praticamente não ocorre diferença em função da quantidade de cascalho aplicada. Nesse caso, pode-se inferir que a dose combinada destes (cascalhos) com a torta de mamona, tenha de alguma maneira, favorecido o crescimento igualitário das colônias de fungos. Além disso, é preciso destacar que os compostos orgânicos presentes nos cascalhos são n-parafinas. Essa hipótese pode ser corroborada na literatura que consolida o sucesso do

emprego de fungos em tratamentos de solos contaminados por petróleo, justamente por estes micro-organismos serem bem mais adaptados a condições de estresse para o seu crescimento, principalmente os lignolíticos (Durrant et al., 2001; Oliveira et al., 2008), o que inclusive, havia sido encontrado nos resultados para a quantificação de micro-organismos no capítulo anterior, discutidos no item 3.6.2 desse trabalho.

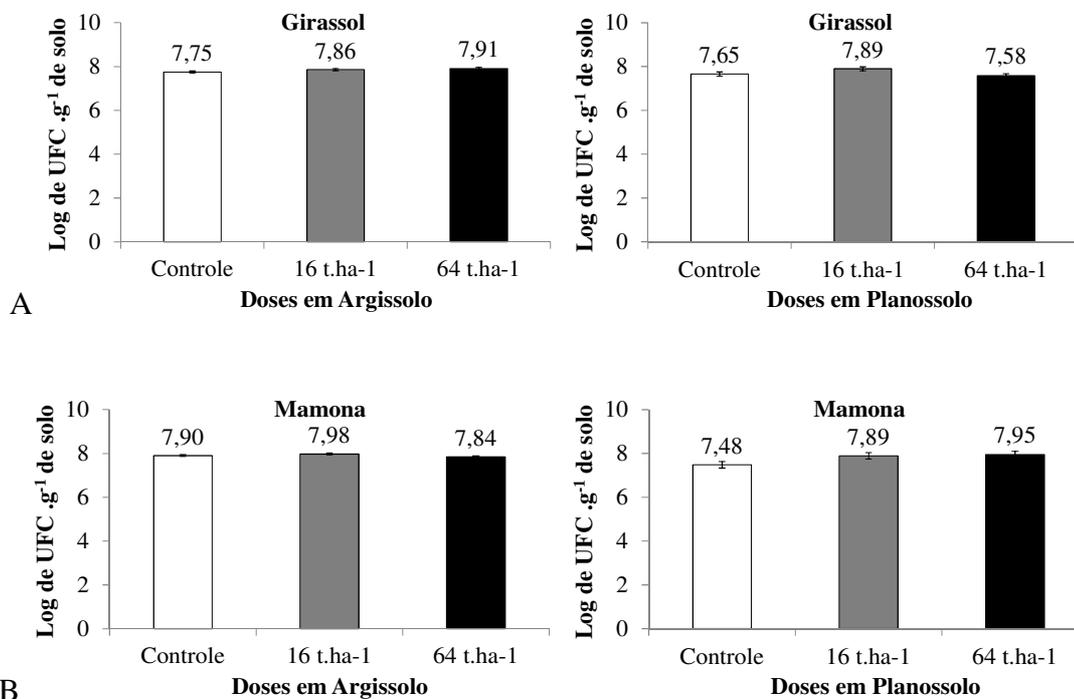


Figura 36. Contagem de fungos (Log de UFC.g⁻¹ de solo) após ensaio em casa de vegetação com plantas de girassol (A) e mamona (B) em substratos de textura contrastante. As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições.

A Figura 37 apresenta a quantificação de bactérias (em Log de UFC.g⁻¹ de solo) para os substratos onde cresceram plantas de girassol (A) e mamona (B). Aqui, analisadas as espécies nos dois diferentes substratos.

Para as plantas de girassol, a contagem de bactérias apresentou um comportamento diferente da contagem dos fungos. Nos tratamentos que continham Argissolo, a maior quantificação foi verificada na maior dose (64 t.ha⁻¹) e no Planossolo, os dois tratamentos com combinações de resíduos (16 e 64 t.ha⁻¹) apresentaram contagem menor que o tratamento controle (Figura 37 A).

Nos substratos com Argissolo onde cresceram plantas de mamona com doses combinadas de torta e cascalho, a quantificação de bactérias foi maior quanto maior a dose aplicada (Figura 37 B). No Planossolo, o tratamento que continha a maior dose de cascalho superou o de menor dose (Figura 37 B). Entretanto a contagem foi bastante semelhante.

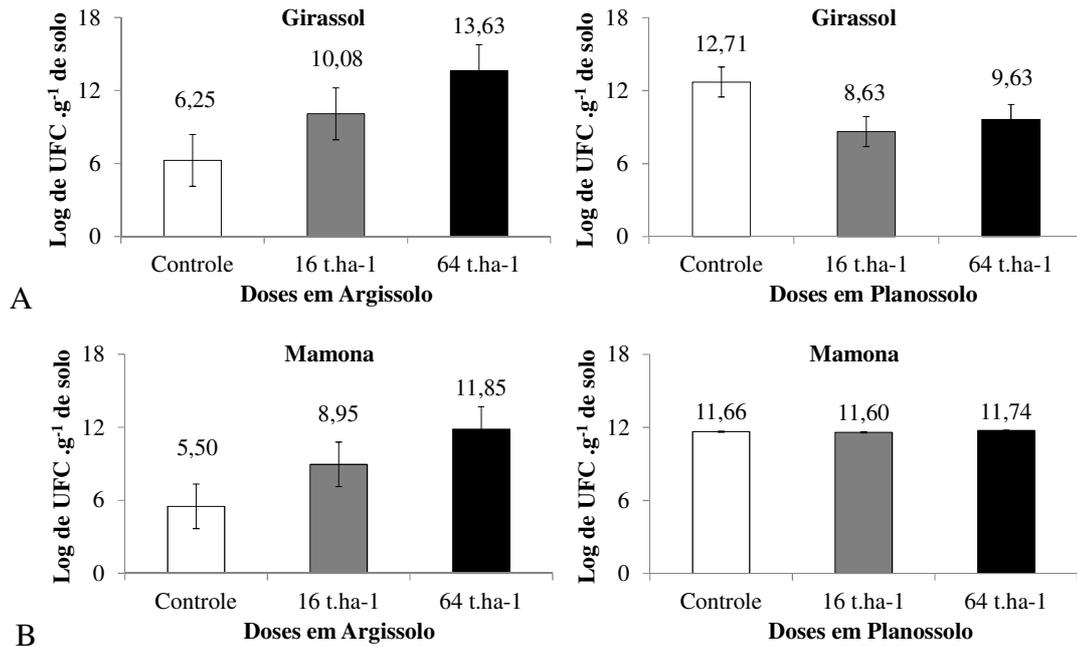


Figura 37. Contagem de bactérias (Log de UFC.g⁻¹ de solo) após ensaio em casa de vegetação com plantas de girassol (A) e mamona (B) em substratos de textura contrastante. As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições.

A Figura 38 apresenta a quantificação de actinomicetos (em Log de UFC.g⁻¹ de solo) para os substratos onde cresceram plantas de girassol (A) e mamona (B). Aqui, analisadas as espécies nos dois diferentes substratos.

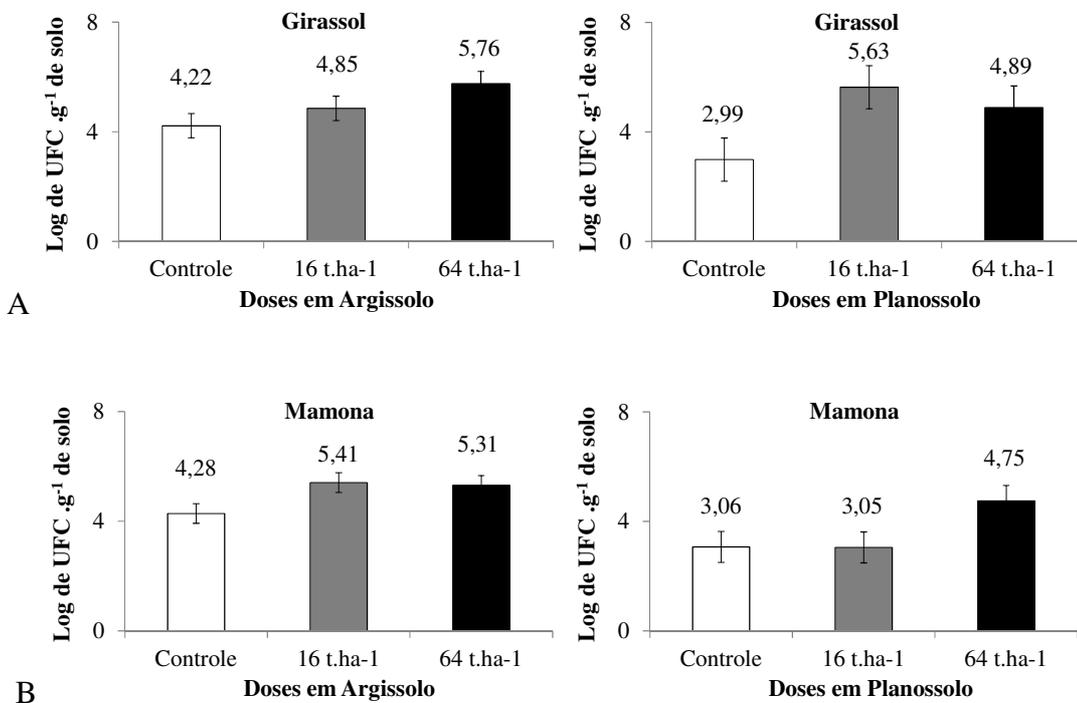


Figura 38. Contagem de actinomicetos (Log de UFC.g⁻¹ de solo) após ensaio em casa de vegetação com plantas de girassol (A) e mamona (B) em substratos de textura contrastante. As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições.

Para os actinomicetos, a contagem mostrou, em substrato com Argissolo onde cresceram girassóis (Figura 38 A), que as doses combinadas de cascalho e torta proporcionaram maiores quantificações que o tratamento controle. No Planossolo, o maior crescimento desse micro-organismo foi verificado na menor dose de cascalho (16 t.ha⁻¹). Essa dose superou a maior de cascalho e também o tratamento controle (Figura 38 A).

Para os substratos com Argissolo onde cresceram plantas de mamona, o tratamento com a menor dose foi o que apresentou a maior quantificação desses micro-organismos (Figura 38 B). No substrato mais arenoso (Planossolo), o tratamento com a maior dose superou o de menor dose e o tratamento controle (Figura 38 B).

4.6.4 Total de hidrocarbonetos de petróleo

A Figura 39 mostra o teor total de hidrocarbonetos de petróleo antes e depois do ensaio com as plantas de girassol e mamona, crescidas em substratos com amostras superficiais de Argissolo (A) e Planossolo (B). Barras em preto mostram as quantidades adicionadas (antes) e as barras brancas o quantificado (depois) após coleta das plantas. Doses em mg⁻¹.

Observando a Figura 39, percebe-se que a degradação do total de HTP ocorrida onde cresceram plantas de girassol, na maior dose proposta (64 t.ha⁻¹) foi maior que a menor dose (16 t.ha⁻¹). Foram degradados 91,89 % da maior dose contra 86,34 % da menor dose (Figura 39 A).

O mesmo ocorreu onde cresceram plantas de mamona. Nos tratamentos que receberam a dose maior, ou seja, daquilo que foi adicionado (em mg⁻¹) de HTP, cerca de 91,63 % foi degradado após o final do experimento contra 58,1 % da menor dose (Figura 39 B).

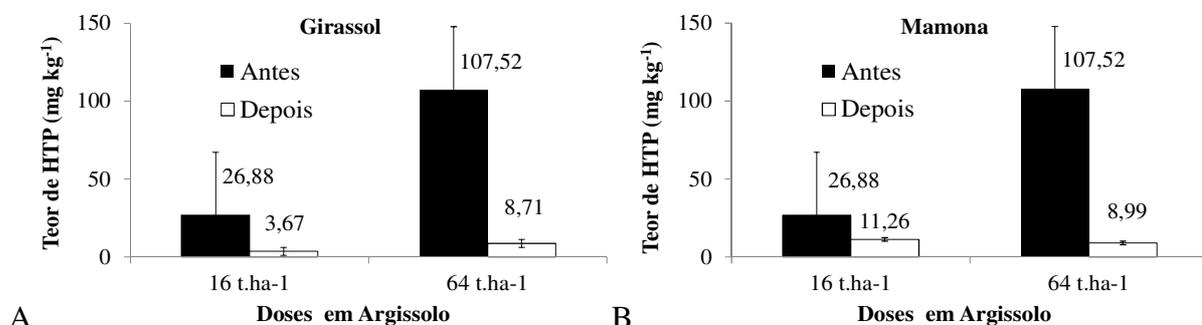


Figura 39. Total de hidrocarbonetos de petróleo (em mg kg⁻¹) antes e depois de ensaios com plantas de girassol (A) e mamona (B) em Argissolo. As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições.

A mesma tendência foi seguida nos tratamentos com Planossolo (Figura 40 A). Foram degradados 94,99 % do que foi adicionado na maior dose contra 82,4% adicionado na menor dose. Onde cresceram plantas de mamona (Figura 40 B), observou-se a mesma tendência, porém com menor diferenciação, como ocorrera com plantas de mamona no Argissolo (Figura 39 B). No Planossolo, a maior dose degradou 94,46% contra 91,80 % da menor dose.

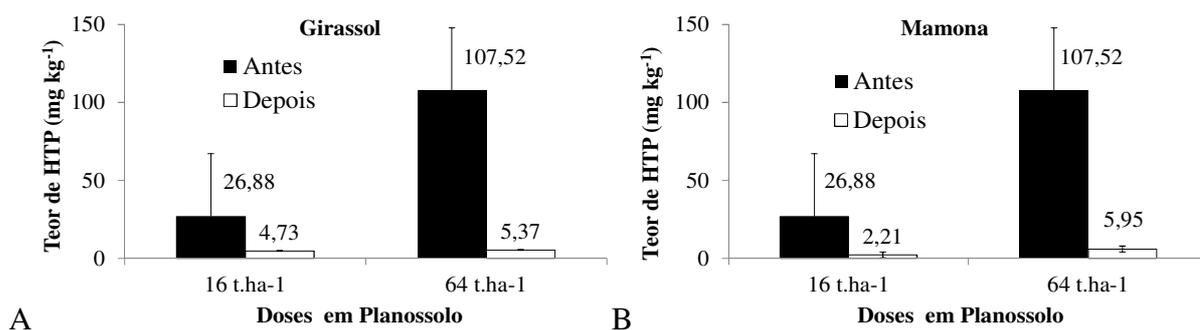


Figura 40. Total de hidrocarbonetos de petróleo (em mg kg^{-1}) antes e depois de ensaios com plantas de girassol (A) e mamona (B) em Planossolo. As barras indicam o erro padrão da média e os números a média das três repetições.

Os resultados encontrados neste trabalho para a quantificação de fungos (Figura 36), quando analisados em conjunto com a Figura 39 e Figura 40 corroboram o descrito por Durrant e colaboradores (2001) que conduziram experimento em que fungos lignolíticos foram crescidos em meio líquido (30 ml) contendo naftaleno (0,5%), antraceno (0,1), pireno (0,05%) ou benzo [a] pireno (0,05%), para medição da atividade enzimática e a degradação desses hidrocarbonetos aromáticos. Os autores retiraram amostras em intervalos de 3 dias até o décimo quinto dia e a cada 5 dias por mais 15 dias. Ao final do experimento concluíram que as linhagens utilizadas foram capazes de crescer e degradar os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, mesmo os mais complexos como pireno e benzo[a]pireno, sendo que a porcentagem de degradação e a produção de enzimas lignolíticas variaram de acordo com a linhagem, com o hidrocarboneto policíclico aromático (HPA) e com o dia de crescimento. As degradações máximas obtidas foram: naftaleno (50% no sexto dia); antraceno (45% décimo quinto dia); pireno (35% décimo quinto dia) e benzo [a] pireno (75% no terceiro e sexto dia).

Huang et al. (2005) em trabalho que avaliavam a biorremediação de compostos provenientes de petróleo, mostraram que a degradação foi mais eficiente quando se fez uso de vários processos ou técnicas, em conjunto e concomitantes, para se degradar estes compostos. Os autores comparam a técnica do *landfarm*, a biorremediação (emprego só de microrganismos), o uso de plantas (fitorremediação) e o que chamaram de sistema de multiprocessos em comparação a um tratamento controle. O método mais eficiente foi justamente aquele em que todos os processos atuaram em concomitância. Os resultados mostrados na Figura 39 e Figura 40 ratificam o que referenda a literatura, uma vez que plantas e micro-organismos atuaram em conjunto, contribuindo para as taxas de degradação encontradas nesse trabalho.

4.7 CONCLUSÕES

Com a avaliação dos dados é possível concluir que:

- ✓ As oleaginosas mostraram alta sensibilidade a maior dose aplicada de cascalho de perfuração (64 t.ha^{-1}) para todos os tratamentos adotados, tanto em Argissolo quanto em Planossolo, quando comparadas ao controle. Entretanto as plantas de girassol se mostraram sensivelmente mais tolerantes que as de mamona.
- ✓ O cascalho de perfuração aumenta os teores de bases no solo, incrementando principalmente, cálcio, magnésio e potássio, que são elementos essenciais ao crescimento vegetal, elevando a faixa de pH e diminuindo a zero os teores de alumínio tóxico no solo.
- ✓ Em relação ao crescimento das espécies vegetais, os resultados obtidos mostraram que os substratos com amostras superficiais de Planossolo, obtiveram melhores respostas, com as mesmas doses adicionadas, quando comparados com aqueles que continham amostras superficiais de Argissolo.
- ✓ A contagem dos micro-organismos mostrou grande variação entre seus resultados, principalmente quando a comparação é feita entre bactérias e actinomicetos. Já, para os fungos, ficou claro que a contagem desses micro-organismos superou a dos outros dois quantificados.
- ✓ A degradação dos totais de hidrocarbonetos de petróleo, provenientes do fluido, avaliada após os ensaios com as plantas de mamona e girassol em dois tipos de solos por 70 dias, foi superior a 58% em todos os tratamentos avaliados.
- ✓ Embora o aumento das doses de cascalho também cause incremento de sódio, é possível perceber o benefício do seu uso, no trabalho realizado, como corretivo da acidez do solo.

CAPÍTULO IV

5 ACÚMULO DE SÓDIO E POTÁSSIO EM *Helianthus annuus* e *Hordeum vulgare* E EFEITO NOS TEORES DE BASES TROCÁVEIS DOS SUBSTRATOS

5.1 RESUMO

Este trabalho avaliou o efeito do acúmulo de sódio e potássio (presentes no cascalho de perfuração), no crescimento de plantas de girassol e cevada, bem como seus efeitos nas bases trocáveis dos substratos. Testaram-se duas amostras de cascalho, obtidas durante a perfuração de um poço no estado da Bahia e outras duas coletadas em poço no estado de Alagoas. Após análises de macro nutrientes, teor total de sódio e hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP), bem como toda a estratégia de coleta e caracterização descritos no capítulo I desse estudo, as amostras foram separadas em promissoras – PBA (Bahia) e PAL (Alagoas) por apresentarem teores consideráveis de Ca e Mg e restritivas – RBA (Bahia) e RAL (Alagoas) por apresentarem altos teores de Na e HTP). Foram testadas doses de 8 e 32 t.ha⁻¹ em uma amostra de horizonte superficial de um Planossolo para mensurar, ao final de 70 dias após germinação, o acúmulo de massa seca da parte aérea, altura total de plantas, teores de Na e K na parte aérea e raízes, além dos teores disponíveis nos substratos, mais a condutividade elétrica, cloretos e porcentagem de sódio trocável e por último, análises dos totais de hidrocarbonetos de petróleo. Os resultados indicaram que as plantas de girassol mostraram-se mais sensíveis que as de cevada para as maiores doses adotadas, independentemente da amostra (promissora ou restritiva). Isso ocorreu para os cascalhos dos dois poços. Os resultados também mostraram que o acúmulo de sódio e potássio na parte aérea e nas raízes das duas espécies foi maior quanto maior a dose de cascalho adotada, independente da escolha entre promissora e restritiva. Para os substratos os resultados mostraram aumento nas bases trocáveis dos mesmos, tanto naqueles onde cresceram girassóis quanto com cevada, em todos os tratamentos com doses iguais a 32 t.ha⁻¹ em relação aos de 8t.ha⁻¹ e ao tratamento controle, respectivamente. A separação dos cascalhos em doses se mostrou mais eficiente que a separação em amostras promissoras e restritivas. A análise cromatográfica mostrou que os compostos orgânicos dos cascalhos foram totalmente degradados durante a condução do experimento.

Palavras chave: Acidez. Correção do solo. Soma de bases.

5.2 ABSTRACT

This study evaluated the accumulation effect of sodium and potassium (present in drill cuttings), on growth of sunflower and barley, as well as its effects on substrates exchangeable bases. Two gravel samples, obtained during the drilling of a well in the State of Bahia were tested, plus two others collected from the well in the Alagoas State. After analysis of macro nutrients, total content of sodium and total petroleum hydrocarbons (TPH), as well as the procedure for sampling and characterization described in Chapter I of this study, the samples were separated as promising – from PBA (Bahia) and PAL (Alagoas), for having considerable amounts of Ca and Mg, and restrictive - RBA (Bahia) and RAL (Alagoas), the ones having high levels of Na and TPH. Dosages of 8 and 32 Mg.ha⁻¹ were tested in a sample of surface horizon from a Fragiudult soil to measure, 70 days after germination, the dry mass of aerial parts, the total height of plants, levels of Na and K in aerial parts and roots; plus the available contents in the substrates and the electrical conductivity; the chlorides and exchangeable sodium percentage; and analysis of total petroleum hydrocarbons. The results indicated that the sunflower plants were more sensitive than barley to the highest doses applied, regardless of the sample (promising or restrictive). This occurred for gravels from both wells. The results also showed that the accumulation of sodium and potassium in the aerial parts and roots of both species was greater as the dose of gravel increased, regardless of the choice between promising and restrictive. The results related to the substrates showed that there was an increase in exchangeable bases in both, the ones grown with sunflowers and barley, in all treatments at doses of 32 Mg.ha⁻¹ compared to 8 Mg.ha⁻¹ and control treatment, respectively. The separation of gravels in doses was more efficient than the separation in promising and restrictive samples. The chromatographic analysis showed that the organic compounds in the gravel materials were fully degraded during the experiment.

Key words: Acidity. Soil correction. Sum of bases.

5.3 INTRODUÇÃO

Não é de hoje que resíduos industriais são utilizados como fonte de nutrientes ou como corretivos da acidez do solo. Essa foi uma tendência que se fez necessária para atenuar os efeitos nocivos causados pela geração e acúmulo destes materiais, seja no próprio pátio das indústrias ou em aterros (controlados ou não). Gerir esses materiais sempre teve um custo muito grande para as empresas e seu uso ou reuso tende a diminuir esses custos, além de elevar e melhorar a imagem da empresa, mostrando uma visão mais compromissada com o ambiente e a sustentabilidade. Independente dessas considerações, resíduos industriais devem ser tratados pela fonte geradora, sendo uma exigência legal no Brasil.

Por outro lado os custos com insumos para correção do solo podem ser igualmente reduzidos se esses materiais forem aplicados no solo, com parcimônia. Para tanto se faz necessário a pesquisa e a experimentação técnica para verificar a potencialidade desses materiais e seus efeitos contrários, no que tange a metais pesados e/ou possíveis contaminantes orgânicos.

Considerando, nesse estudo, que o sódio é um limitante ao crescimento vegetal (excetuando-se aqui, espécies halófitas) e que no solo, este elemento é um agente dispersante de argilas, causando lixiviação de bases nos mesmos, e que, além disso, se fazia necessária a procura por plantas que pudessem se mostrar acumuladoras e /ou tolerantes para crescer em ambientes salinos, imaginou-se nesse capítulo, fazer uma avaliação desses fatores sem a combinação de outro resíduo (utilizado nos outros dois capítulos anteriores), para se ter uma compreensão (singular) de suas vantagens e desvantagens.

Dessa forma, esse trabalho teve por objetivo testar o acúmulo de sais de sódio e potássio em plantas de cevada e girassol, além de verificar seus efeitos nas bases trocáveis do solo. Para atingir tal objetivo foram escolhidas plantas com certa tolerância à salinidade e separadas amostras de dois poços de petróleo em função de elementos mais restritivos e mais promissores. Além da análise antes e depois dos teores totais de hidrocarbonetos de petróleo, para verificar sua degradação.

5.4 REVISÃO DE LITERATURA

5.4.1 Estresse salino e uso de plantas tolerantes

Plantas tolerantes ao sal (halófitas) evoluíram para crescer em solos salinos e sódicos. No entanto, a maioria das culturas econômicas são sal-sensíveis. Por conseguinte, a salinidade é uma constante ameaça para a agricultura, especialmente em áreas onde a salinização secundária se desenvolveu através de atividades antrópicas. As tentativas de melhorar a tolerância à salinidade das culturas economicamente rentáveis se encontram com um sucesso muito limitado devido à complexidade tanto genética quanto fisiológica do assunto. As tentativas de produzir culturas sal tolerantes envolvem a domesticação de plantas halófitas, a manipulação de espécies vegetais existentes através de programas de melhoramento convencional, seleção *in vitro*, reunião de características fisiológicas, hibridação interespecífica, uso de seleção assistida por marcadores moleculares e desenvolvimento de plantas transgênicas. Após 10 anos de pesquisa, o uso de plantas transgênicas para alterar a tolerância à salinidade tem ainda de ser testado em campo. O uso de características fisiológicas em programas de melhoramento e domesticação de plantas halófitas atualmente oferece alternativas viáveis para o desenvolvimento da tolerância através da utilização das tecnologias transgênicas (Flowers & Flowers, 2005).

Apesar da riqueza das pesquisas publicadas sobre a tolerância de plantas à salinidade, nem os locais metabólicos em que os danos do estresse salino ocorrem em plantas e nem os mecanismos adaptativos utilizados pelas plantas para sobreviver sob condições salinas são bem compreendidos. Como resultado, não há indicadores bem definidos para a tolerância à salinidade disponível para ajudar os melhoristas na busca da tolerância à salinidade por culturas econômicas. Embora os melhoristas tenham conseguido aumentar a tolerância à salinidade de algumas culturas em décadas recentes, como o vigor da planta ou produção de sementes como principais critérios de seleção, essa pode ser mais eficiente e possível, se a cultura possuir indicadores distintos da tolerância à salinidade em toda a planta, a nível celular. Assim, há a necessidade de se determinar os mecanismos bioquímicos subjacentes à tolerância à salinidade, de modo a fornecer reprodutores de espécies vegetais com indicadores apropriados (Ashraf & Harris, 2004).

Plantas expostas ao estresse salino sofrem alterações em seu ambiente. A capacidade das plantas de tolerar o sal é determinada por múltiplos caminhos bioquímicos que facilitam a retenção e/ou aquisição de água, protege as funções do cloroplasto e mantém a homeostase iônica. Caminhos essenciais incluem aqueles que conduzem a síntese de metabólitos osmoticamente ativos, proteínas específicas e determinadas. A capacidade das plantas para desintoxicar radicais em condições de estresse salino é provavelmente a condição mais crítica. Muitas espécies tolerantes ao sal acumulam metabólitos metilados, que desempenham importante papel. Sua síntese está relacionada com o estresse induzido por aumento da fotorrespiração (Parida & Das, 2005).

Espécies de plantas podem ser selecionadas para extrair e assimilar ou extrair e quimicamente decompor os contaminantes. Muitos compostos químicos inorgânicos, considerados contaminantes ambientais, são, de fato, nutrientes vitais que podem ser absorvidos por meio do sistema de raízes das plantas para o seu crescimento e desenvolvimento. Metais podem ser absorvidos e bioacumulados nos tecidos das plantas (Accioly & Siqueira, 2000).

Alguns trabalhos têm demonstrado o efeito da adição dos fluidos de perfuração em solos e plantas (Miller & Pesaran, 1980; Miller et al., 1980; Bauder et al., 2005) e, todos

relatam inibição de crescimento em plantas submetidas a tratamentos com esse resíduo, relacionado principalmente a presença de sódio nos fluidos e cascalhos de perfuração.

O crescimento vegetal responde à salinidade em duas fases: uma rápida, designada de fase osmótica que inibe o crescimento das folhas jovens, e uma mais lenta, que acelera a senescência de folhas. As adaptações das plantas à salinidade são de três tipos distintos: tolerância ao estresse osmótico, exclusão do Na^+ ou Cl^- , e tolerância de tecidos para acumulação de Na^+ ou Cl^- . O estresse provocado por solos salinos, afeta as plantas de duas maneiras: altas concentrações de sais no solo tornam mais difícil para as raízes a busca por água, e altas concentrações de sais na planta podem ser altamente tóxicos. Sais no exterior das raízes têm um efeito imediato sobre o crescimento celular e no metabolismo das plantas (Munns & Tester, 2008).

Para se adaptar ao estresse salino, as espécies vegetais têm desenvolvido mecanismos complexos, que contribuem para suportar os estresses osmótico e iônico, provocados pela alta salinidade (Meloni et al., 2004). Esses mecanismos incluem o ajustamento osmótico, que é usualmente acompanhado pela absorção de íons inorgânicos, bem como pela acumulação de solutos orgânicos compatíveis (osmoprotetores) (Strange, 2004). Íons inorgânicos são sequestrados no vacúolo, enquanto os solutos orgânicos são compartimentalizados no citoplasma, para balancear o baixo potencial osmótico nos vacúolos (Taiz & Zeigler, 2004; Silva et al., 2009).

5.5 MATERIAL E MÉTODOS

5.5.1 Uso de cascalho de perfuração no cultivo de espécies vegetais.

Foram utilizadas amostras de cascalho de perfuração dos dois poços coletados 7MGP-98 BA e 7SMC 50D AL. Depois de todo o processo de separação dos cascalhos por fase de perfuração, fluido utilizado e equipamento de recuperação de fluido em cada uma das sondas de perfuração, foi feita uma análise criteriosa dos resultados das análises químicas de cada uma das amostras compostas. Foram escolhidas duas amostras compostas por poço. Uma restritiva e uma promissora.

As escolhas para amostras restritivas foram embasadas nos teores totais de elementos prejudiciais ao crescimento vegetal. Para as amostras compostas mais promissoras, a escolha se deu em função dos teores de nutrientes essenciais ao crescimento vegetal, exatamente como no item 2.6.3 deste trabalho.

Assim sendo, as amostras compostas promissoras e restritivas, escolhidas para cada um dos poços estão descritas na Tabela 29.

Tabela 29. Amostras compostas escolhidas (promissora e restritiva) dos poços de prospecção de petróleo, coletadas nos estados da Bahia e de Alagoas.

POÇO 7MGP 98D – BAHIA			
Amostra promissora		Amostra restritiva	
2ª Composta do Secador		6ª Composta do Secador	
Fase da perfuração	Fase II	Fase da perfuração	Fase II
Tipo de fluido	Base orgânica	Tipo de fluido	Base orgânica
POÇO 7SMC 50D – ALAGOAS			
Amostra promissora		Amostra restritiva	
2ª Composta do Secador		6ª Composta do Secador	
Fase da perfuração	Fase II	Fase da perfuração	Fase III
Tipo de fluido	Catiônico	Tipo de fluido	Base orgânica

Foram utilizadas plantas de cevada (*Hordeum vulgare* L) e girassol (*Helianthus annuus* L), espécies reconhecidas por sua tolerância ao estresse salino. Para ambas as amostras, foi usado o delineamento à seguir com 3 repetições: (i) Dose 1 de cascalho (8t.ha⁻¹); (ii) Dose 2 de cascalho (32 t.ha⁻¹); (iii) Controle (solo puro).

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), no município de Seropédica - RJ (22°47' de latitude sul e 43°40' de longitude oeste). A Figura 41 detalha a condução do experimento em que foram mensurados a cada semana parâmetros biométricos e também de condutividade elétrica dos substratos.



Figura 41. Plantas de cevada (acima), e girassol (abaixo) aos 30 dias após germinação de sementes em substrato contendo diferentes doses de cascalho de perfuração incubadas com amostras de horizonte superficial de um solo de textura arenosa.

Utilizaram-se amostras de solos coletadas do horizonte superficial de um Planossolo, localizado na área da UFRRJ, previamente caracterizado, o mesmo utilizado nos ensaios da Fase II deste trabalho (Item 3.5.1) (Tabela 21). Os vasos utilizados tinham capacidade igual a 8 L e eram fechados para evitar perda por lixiviação dos sais. As sementes de cevada e girassol foram postas para germinar diretamente nas unidades experimentais (vasos).

O desenvolvimento das plantas foi avaliado quanto ao teor de massa seca e altura. As concentrações de Na e K foram determinados a partir de digestão nitroperclórica e sulfúrica, pelo método de Tedesco et al., (1995).

Uma amostra representativa dos substratos utilizados foi coletada para determinação dos seguintes atributos: P e K disponíveis (extrator *Mehlich*); Ca, Mg e Al trocáveis (extrator KCl), pH e Corgânico (EMBRAPA, 1997). Atributos como soma de bases, saturação de alumínio e CTC foram calculados, posteriormente.

Também foram determinados teores de cloreto, percentagem de sódio trocável (PST) e condutividade elétrica da pasta saturada (CE a 25°C), além do total de hidrocarbonetos de petróleo.

5.5.2 Preparo das doses e análises dos teores disponíveis, no tempo inicial, antes do plantio.

Para efeito de comparação com os resultados encontrados após a coleta das plantas nos substratos propostos, foi feita a análise química dos mesmos, após mistura com as doses propostas (promissoras e restritivas). Esses resultados estão apresentados na Tabela 30.

Quando comparadas as doses (8 e 32 t.ha⁻¹) das promissoras e restritivas do poço de Alagoas, é possível perceber que as promissoras apresentam maiores valores de pH e também teores disponíveis de cálcio (Tabela 30).

O mesmo ocorre com as promissoras e restritivas da Bahia, nas suas doses de 8 e 32 t.ha⁻¹. As doses propostas apresentam maiores teores de Ca, Mg e K que o solo adotado como controle – que não recebeu nenhuma dose de cascalho algum. A maior disparidade está na quantidade de carbono orgânico (Tabela 30).

Tabela 30. Resultado de análise química de terra em substratos prontos e misturados, antes do plantio de girassol e cevada.

pH H ₂ O	Complexo Sortivo								V ⁽³⁾ %	m ⁽⁴⁾ mg kg ⁻¹	P ⁽⁵⁾ g kg ⁻¹	C ⁽⁶⁾ g kg ⁻¹
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB ⁽¹⁾	Al ³⁺	H ⁺	T ⁽²⁾				
-----cmol/kg-----												
RESTRITIVA ALAGOAS – 8t.ha ⁻¹												
6,0	1,21	0,91	0,28	1,52	3,92	0	1,91	5,83	67	0	18,31	10,7
RESTRITIVA ALAGOAS – 32 t.ha ⁻¹												
6,2	2,26	0,81	0,34	2,10	5,51	0	1,15	6,66	83	0	21,71	14,7
PROMISSORA ALAGOAS - 8t.ha ⁻¹												
6,5	1,88	1,01	0,2	0,12	3,21	0	1,55	4,76	67	0	20,72	14,4
PROMISSORA ALAGOAS - 32 t.ha ⁻¹												
6,9	2,96	0,09	0,24	0,26	3,55	0	0	3,55	100	0	27,11	12,4
RESTRITIVA BAHIA - 8t.ha ⁻¹												
6,3	1,17	1,25	0,23	0,30	2,95	0	1,74	4,69	63	0	20,30	12,4
RESTRITIVA BAHIA - 32 t.ha ⁻¹												
6,7	2,04	1,06	0,31	0,75	4,16	0	1,08	5,24	79	0	22,38	13,2
PROMISSORA BAHIA - 8t.ha ⁻¹												
6,1	1,01	1,3	0,21	0,37	2,89	0	1,66	4,55	63	0	16,24	12,8
PROMISSORA BAHIA - 32 t.ha ⁻¹												
6,5	2,4	1,14	0,3	0,91	4,75	0	1,03	5,78	82	0	19,14	12,9
CONTROLE												
5,5	1,2	0,3	0,07	0,02	1,59	0,5	2,0	4,09	39	24	3,0	1,2

⁽¹⁾SB= soma de bases trocáveis; ⁽²⁾T= CTC a pH 7,0; ⁽³⁾V= índice por saturação de bases; ⁽⁴⁾m= índice de saturação por alumínio; ⁽⁵⁾P= fósforo assimilável; ⁽⁶⁾C= carbono orgânico total.

5.5.3 Análise estatística dos dados

Os dados foram avaliados quanto à homogeneidade e normalidade das amostras, seguidas de análise de variância e as médias então, foram comparadas utilizando Teste *Scott-knott* a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa estatístico SAEG (2007) versão 9.1.

5.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.6.1 Cultivo de *Helianthus annuus* - girassol

A figura 42 revela a altura final que alcançaram as plantas de girassol. Na fotografia, percebe-se maior altura no tratamento com dose promissora igual a 8 t.ha⁻¹ de cascalhos da Bahia e de Alagoas. Tendo esse crescimento alcançado altura semelhante ao controle testado.



Figura 42. Girassóis no dia da coleta do experimento, 70 dias após o plantio, crescidos em substratos com doses restritivas (RES) e promissoras (PRO) dos cascalhos coletados em Alagoas (A) e na Bahia (B), comparadas com o controle.

As doses adotadas como restritivas, de ambos os poços, mostraram-se pouco efetivas para o crescimento do girassol, especialmente na dose igual a 32 t.ha⁻¹ (Figura 42).

A Figura 43 apresenta o ganho de massa seca de parte aérea das plantas de girassol crescidos em substratos com diferentes doses de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas e Bahia. Os resultados são apresentados de forma comparativa entre os dois cascalhos e suas doses adotadas como promissoras e restritivas.

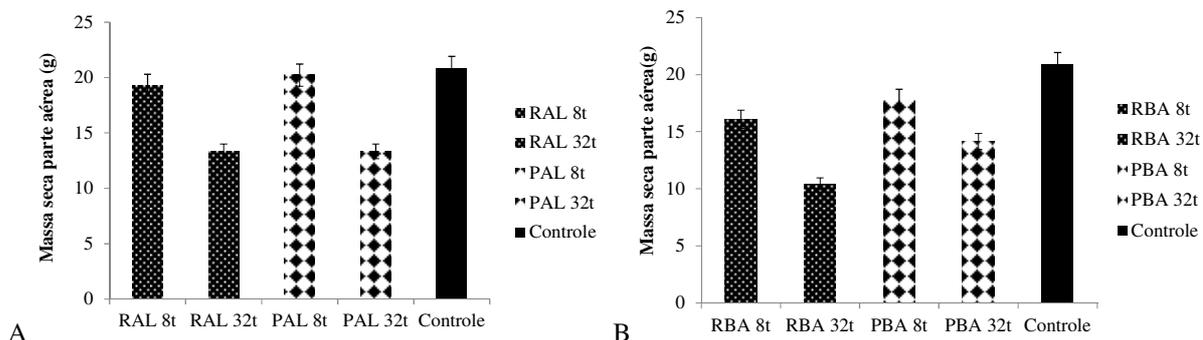


Figura 43. Massa seca da parte aérea de plantas de girassol crescidas sob doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B). As barras indicam o erro padrão da média.

A Figura 43 corrobora a imagem mostrada na Figura 42 quando as doses promissoras de ambos os cascalhos testados, na dose igual a 8t.ha⁻¹ apresenta maior ganho de massa seca quando comparadas as outras testadas, só perdendo para o tratamento controle (Figura 43 A e B). Entretanto, percebe-se que mesmo naquelas adotadas como restritivas, a dose igual a 8 t.ha⁻¹ fica bem próxima, para a massa seca das plantas, daquelas adotadas como promissoras, sendo o cascalho da Bahia, o que permitiu as plantas um maior acúmulo de massa seca da parte aérea (Figura 43).

A Figura 44 apresenta os teores de sódio e potássio, na parte aérea e raízes, em plantas de girassol crescidas em substratos com doses de 8 e 32 t.ha⁻¹, de cascalhos de perfuração de poços de petróleo do estado de Alagoas e Bahia, adotadas como promissoras e restritivas.

Observando a Figura 44, percebe-se uma relação diferente do encontrado no parâmetro anterior (massa seca da parte aérea). Aqui, para o teor de Na e K na parte aérea de folhas de girassol, o que se vê é que há maior acúmulo de potássio nas maiores doses (32 t.ha⁻¹), tanto para amostras promissoras quanto para restritivas. E que os tratamentos com doses menores (8 t.ha⁻¹) acumularam menos. Isso fica mais proeminente para o potássio do que para o sódio (Figura 44 A e B). Em relação ao sódio e potássio, acumulados na parte aérea dos tratamentos que receberam amostras de cascalhos promissoras e restritivas (Figura 44 A e B) e o acúmulo de massa seca dos mesmos tratamentos (Figura 43 A), fica claro que as plantas que melhor responderam no parâmetro de massa seca foram as que apresentaram os menores teores tanto de Na quanto de K, em relação àquelas que cresceram onde havia maior disponibilidade desses dois elementos. Ou seja, as plantas de girassol que cresceram nos tratamentos com doses de cascalho igual a 8 t.ha⁻¹, tanto as identificadas como restritivas como as identificadas como promissoras (Figura 44 A e B).

Para o total acumulado de Na e K nas amostras com cascalhos do poço do estado da Bahia (Figura 44 C e D), observa-se o mesmo comportamento daquele discutido anteriormente (Figura 44 A e B). Sendo que aqui, ficou mais evidente o acúmulo maior nas maiores doses (32 toneladas) em relação a menor dose (8 toneladas), independentemente da amostra de cascalho ter sido adotada como promissora ou restritiva.

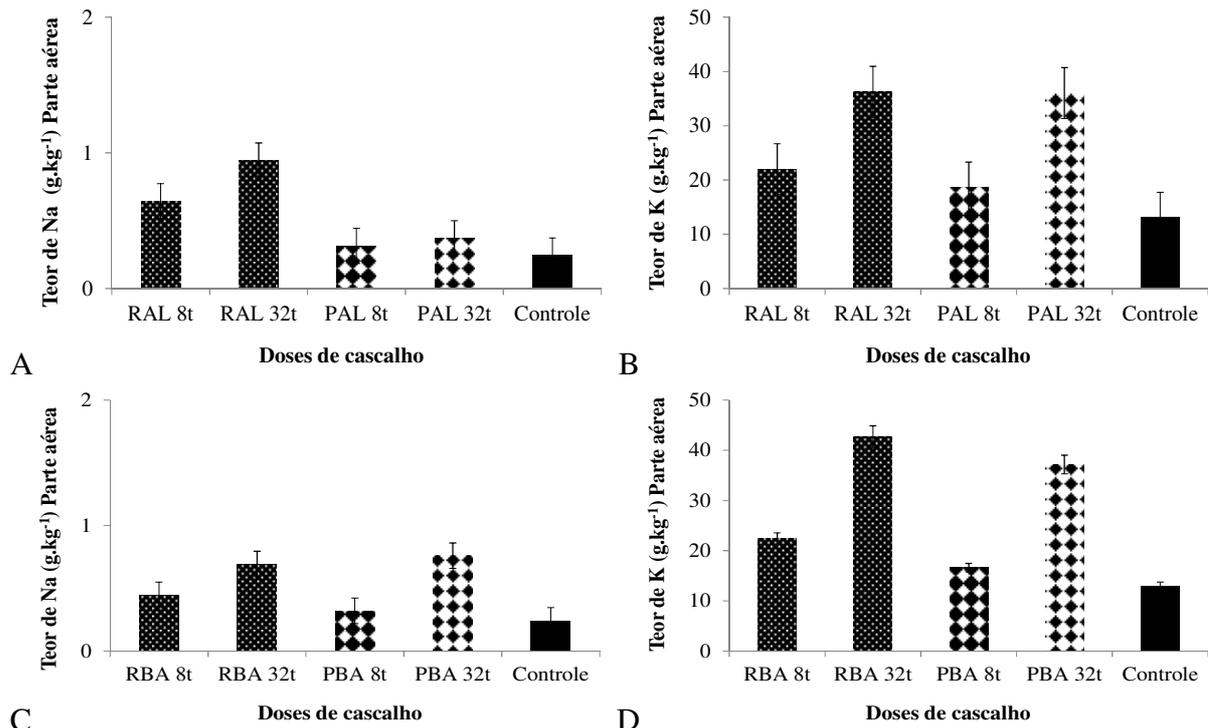


Figura 44. Teores de Na e K (em g.kg⁻¹) na parte aérea de plantas de girassol, crescidas em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A e B) e Bahia (C e D). As barras indicam o erro padrão da média.

As amostras adotadas como restritivas, de ambos os poços, possuíam maiores teores totais de Na e K do que as adotadas como promissoras, uma vez que esses dois elementos são abundantemente utilizados no fluido de perfuração. As plantas de girassol acumularam justamente maiores teores de Na e K onde havia maior disponibilidade desses dois elementos (doses de 32 toneladas por hectare), entretanto, ao que parece, isso não foi determinante para seu maior acúmulo de massa seca (Figura 44 e Figura 43).

Esse resultado pode indicar e /ou correlacionar ou ainda confirmar certa tolerância da espécie testada, uma vez que, segundo Munns & Tester (2008) o crescimento vegetal responde à salinidade em duas fases: uma rápida, designada de fase osmótica que inibe o crescimento das folhas jovens, e uma mais lenta, que acelera a senescência de folhas. As adaptações das plantas à salinidade são de três tipos distintos: tolerância ao estresse osmótico, exclusão do Na⁺ ou Cl⁻, e tolerância de tecidos para acumulação de Na⁺ ou Cl⁻. O estresse provocado por solos salinos, afeta as plantas de duas maneiras: altas concentrações de sais no solo tornam mais difícil para as raízes a busca por água, e altas concentrações de sais na planta podem ser altamente tóxicas. Sais no exterior das raízes têm um efeito imediato sobre o crescimento celular e no metabolismo das plantas

Na Figura 45 são apresentadas as curvas que mostram a altura de plantas de girassol crescidas em substratos com diferentes doses de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas e Bahia. Os resultados são apresentados de forma comparativa entre os dois cascalhos e suas doses adotadas como promissoras e restritivas.

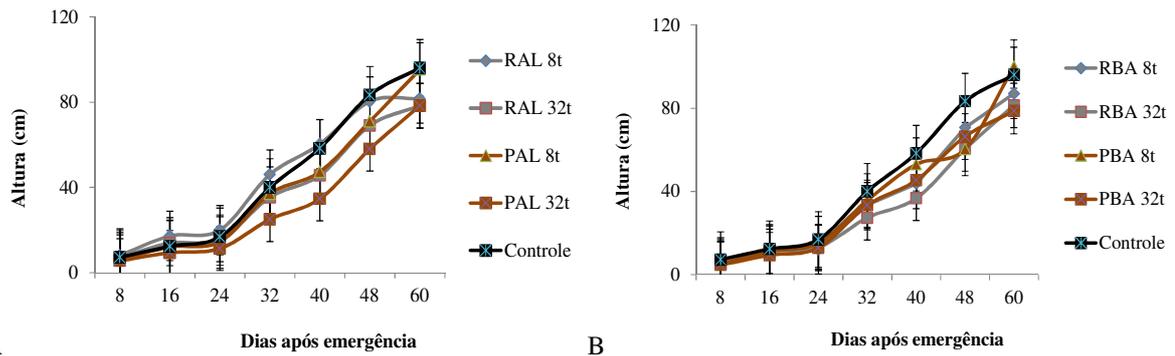


Figura 45. Altura de plantas de girassol (em cm) crescidas em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B). As barras indicam o erro padrão da média.

Para o parâmetro altura de plantas de girassol (Figura 45), percebeu-se que até o vigésimo quarto de dia, após emergência das plântulas, não havia diferenciação entre as doses calculadas e, muito menos, entre as amostras adotadas. Entretanto, a partir do quadragésimo oitavo dia, o tratamento que tinha dose igual a 8 t. ha⁻¹ de cascalhos de ambos os poços, na amostra adotada como Promissora, alcançou a maior altura, juntamente com o controle testado (Figura 45).

A Figura 46 apresenta o ganho de massa seca de raiz de plantas de girassol crescidos em substratos com diferentes doses de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas e Bahia. Os resultados são apresentados de forma comparativa entre os dois cascalhos e suas doses adotadas como promissoras e restritivas.

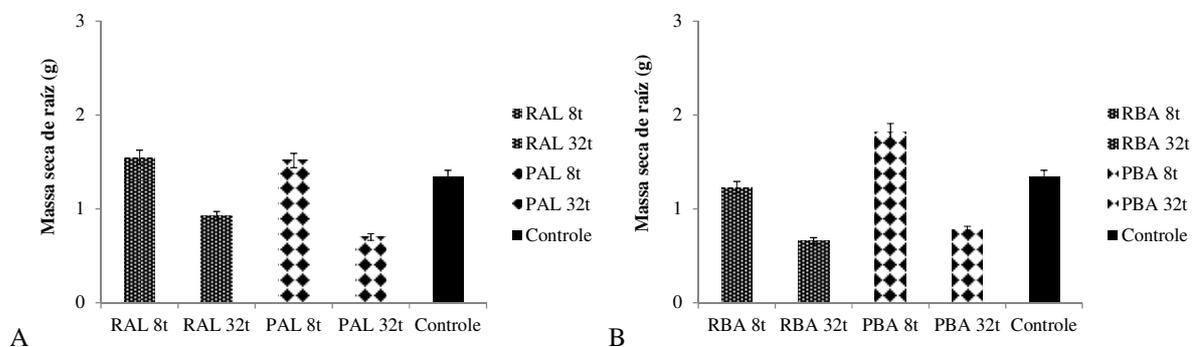


Figura 46. Massa seca de raiz (em gramas) de plantas de girassol crescidas em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B). As barras indicam o erro padrão da média.

No ganho de massa seca (g) de raízes de plantas de girassol (Figura 46), o tratamento que acumulou maior massa foi o que continha a menor dose (8 t. ha⁻¹), tanto para amostra adotada como promissora quanto para amostra adotada como restritiva (Figura 46), resultado semelhante ao encontrado no acúmulo de massa seca da parte aérea (Figura 43).

A Figura 47 apresenta os teores de sódio e potássio (em mg.kg⁻¹), nas raízes de plantas de girassol crescidas em substratos com doses de 8 e 32 t. ha⁻¹, de cascalhos de perfuração de poços do estado de Alagoas e Bahia, adotadas como promissoras e restritivas.

Observando os teores de Na e K acumulados nas raízes de plantas de girassol, (Figura 47), vê-se que, para o sódio (Figura 47 A e C), tanto no cascalho do poço da Bahia quanto no cascalho do poço de Alagoas, em amostras restritivas dos dois poços, o maior acúmulo se deu

nas doses que continham maiores quantidades de cascalho, ou seja, 32 t.ha⁻¹, o que pode explicar o menor acúmulo de massa seca da parte aérea e, conseqüentemente, menor altura alcançada para essas plantas (Figuras 42 e 43). Esse resultado mostra que, num primeiro momento a simples separação desses materiais, como já comentado no primeiro capítulo deste estudo, pode representar real diferença nas respostas das plantas cultivadas, em relação a, pelo menos altura e desenvolvimento.

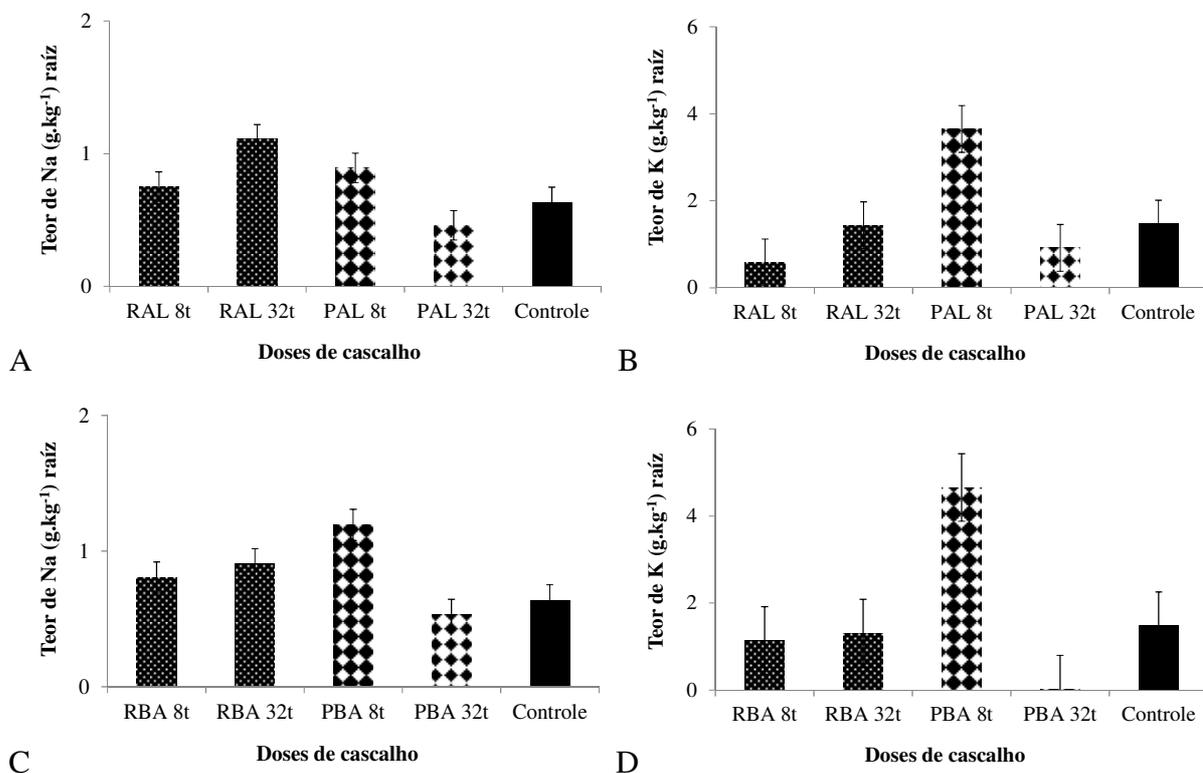
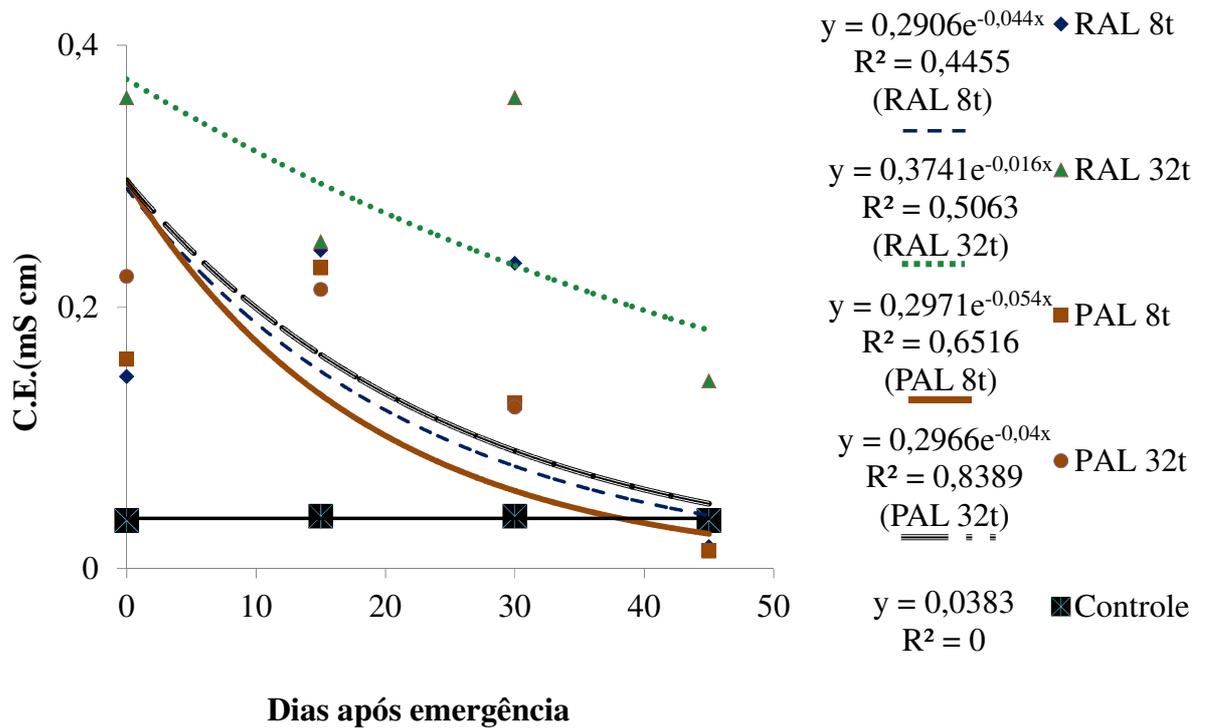


Figura 47. Teores de Na e K (em mg.kg⁻¹) nas raízes de plantas de girassol, crescidas em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A e B) e Bahia (C e D). As barras indicam o erro padrão da média.

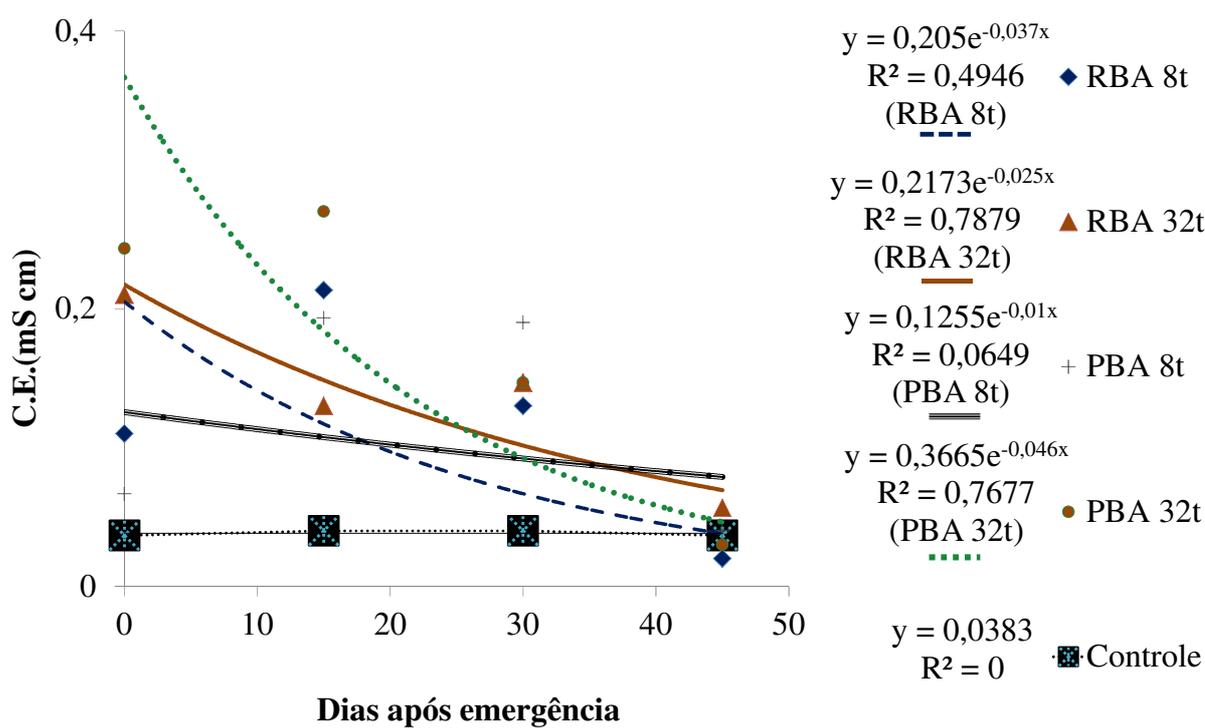
5.6.2 Análise dos substratos onde cresceram plantas de girassol

A Figura 48 ilustra a condutividade elétrica (em mS.cm) dos substratos onde cresceram plantas de girassol com diferentes doses de cascalho de perfuração de poços de petróleo em Alagoas e Bahia. Os resultados são apresentados de forma comparativa entre os dois cascalhos, suas doses calculadas e suas adoções entre promissoras e restritivas.

As curvas que mostram a condutividade elétrica da pasta saturada nos substratos onde cresceram plantas de girassol (Figura 48), tanto para o cascalho do poço de Alagoas quanto para o do poço da Bahia, que apresentaram comportamento semelhante. Ocorre decréscimo acentuado para todas as medidas feitas em todos os substratos avaliados que se estende até poucos dias antes da coleta das plantas, com todas as doses chegando ao mesmo patamar do tratamento controle, com exceção do tratamento que continha a maior dose do cascalho restritivo de Alagoas (Figura 48 A). Para as medidas tomadas nos tratamentos com os substratos do cascalho do poço da Bahia, fica mais evidente o decréscimo. E ele é sempre mais acentuado para as maiores doses adotadas, seja ela restritiva ou promissora (Figura 48 B).



A



B

Figura 48. Condutividade elétrica (mS.cm) dos substratos onde cresceram plantas de girassol em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B).

A Tabela 31 mostra os teores disponíveis dos substratos que continham as amostras adotadas como promissoras e restritivas, dos dois poços em suas doses máximas e mínimas, 8 e 32 toneladas por hectare. Esses resultados apresentam os teores trocáveis dos elementos após o cultivo de plantas de girassol durante os 70 dias de experimento.

Tabela 31. Resultado da análise química de terra em substratos onde cresceram plantas de girassol submetidas às doses de cascalho de perfuração.

pH	Complexo Sortivo								V ⁽³⁾	m ⁽⁴⁾	P ⁽⁵⁾	C ⁽⁶⁾	CE	PST	Cl ⁻
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB ⁽¹⁾	Al ³⁺	H ⁺	T ⁽²⁾							
H ₂ O	-----cmol/kg-----								%	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mS.cm ⁻¹			
RESTRITIVA ALAGOAS – 8t.ha ⁻¹															
5,5 e	1,5 c	0,3 d	0,04 c	0,2 b	2,04 c	0,1 b	2,3 a	4,44 a	45,9 e	4,67 b	14 c	10,8 a	0,46 b	4,50 c	95,87 b
RESTRITIVA ALAGOAS – 32 t.ha ⁻¹															
5,8 d	2,5 b	0,5 b	0,07 b	0,7 a	3,77 b	0,0 c	1,4 c	5,17 a	86,7 c	0,0 c	17,7 b	10,3 a	1,08 a	13,53 a	363,90 a
PROMISSORA ALAGOAS - 8t.ha ⁻¹															
5,9 d	2,1 b	0,3 d	0,05 c	0,0 b	2,45 c	0,0 c	1,9 b	4,35 a	56,3 d	0,0 c	14,3 c	9,2 a	0,41 b	0 e	38,47 b
PROMISSORA ALAGOAS - 32 t.ha ⁻¹															
7,2 a	5,2 a	0,4 c	0,09 a	0,2 b	5,89 a	0,0 c	0,0 e	5,89 a	100 a	0,0 c	22,3 a	9,6 a	0,95 a	3,39 c	71,00 b
RESTRITIVA BAHIA - 8t.ha ⁻¹															
5,7 e	1,6 c	0,4 c	0,05 c	0,1 b	2,15 c	0,0 c	1,7 b	3,85 a	55,8 d	0,0 c	13 c	9,8 a	0,29 b	2,59 d	50,27 b
RESTRITIVA BAHIA - 32 t.ha ⁻¹															
6,7 b	3,0 b	0,7 a	0,06 c	0,4 a	4,16 b	0,0 c	0,7 d	4,86 a	85,6 b	0,0 c	19 d	10,3 a	0,59 b	8,23 b	133,13 b
PROMISSORA BAHIA - 8t.ha ⁻¹															
5,9 d	1,5 c	0,3 d	0,05 c	0,1 b	1,95 c	0,0 c	1,9 b	3,85 a	50,6 d	0,0 c	13,7 c	8,9 a	0,25 b	2,59 d	48,53 b
PROMISSORA BAHIA - 32 t.ha ⁻¹															
6,2 c	2,7 b	0,5 b	0,07 b	0,5 a	3,77 b	0,0 c	1,3 c	5,07 a	74,3 c	0,0 c	17 b	9,3 a	0,98 a	9,86 b	248,47 a
CONTROLE															
5,3 e	1,2 c	0,3 d	0,04 c	0,0 b	1,54 c	0,2 a	2,2 a	3,94 a	39,0 e	11,4	11,7 c	7,0 a	0,16 b	0 e	35,50 b

⁽¹⁾SB= soma de bases trocáveis; ⁽²⁾T= CTC a pH 7,0; ⁽³⁾V= índice por saturação de bases; ⁽⁴⁾m= índice de saturação por alumínio; ⁽⁵⁾P= fósforo assimilável; ⁽⁶⁾C= carbono orgânico total.

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste *Scott-knott* (p < 5).

O que pode ser observado é a completa redução do alumínio tóxico dos substratos, se comparado ao tratamento controle, em rigorosamente todos os tratamentos, independentemente de doses calculadas e adotadas como promissoras e restritivas (Tabela 31). Outra característica importante verificada é o aumento da soma de bases e do índice de saturação por bases (V%), na medida em que se aumentam as doses calculadas (de 8 para 32 toneladas) em todos os tratamentos propostos, quando comparados ao tratamento controle. Entretanto a porcentagem de sódio trocável (PST), a CE e os cloretos apresentam comportamento diametralmente opostos aos dois outros citados anteriormente. Ou seja, quando se aumenta as doses calculadas, aumentam-se também esses valores (Tabela 31).

Esses resultados podem explicitar a importância de se verificar a dose máxima que deve ser calculada para aplicação desse material ao solo. Uma vez que o aumento das bases trocáveis dos substratos está intimamente ligado ao maior aporte de sódio no sistema, o que pode inviabilizar o crescimento vegetal e, ainda, causar danos na estrutura do solo, uma vez que sais de sódio atuam como dispersantes de argila.

Ocorreu um aumento no valor de pH dos substratos em todas as doses aplicadas em relação ao controle, corroborando toda a discussão anterior.

Alguns trabalhos relatam os efeitos da disposição inadequada de resíduos da atividade petrolífera no solo (Miller & Pesaran, 1980; Miller et al., 1980; Bauder et al., 2005). Muitos relatam os efeitos indesejáveis destes no crescimento vegetal por conta da salinização da área e/ou do solo. Em outro, Arocena & Rutherford (2005) mostraram que as bases trocáveis (Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+}) e a condutividade elétrica foram maiores nos solos de sítios de disposição em relação ao controle. Estes autores concluíram ainda que as propriedades dos solos (por exemplo, alta condutividade elétrica) influenciadas por ações inerentes às atividades petrolíferas na região pode promover a degradação dos solos e assim torná-los menos favoráveis para o estabelecimento e crescimento de culturas agrícolas e florestais.

5.6.3 Análise dos teores totais de hidrocarbonetos de petróleo

A Figura 49 mostra o resultado para as análises dos teores totais de hidrocarbonetos de petróleo (HTP) antes e depois do experimento com girassóis.

Observando as colunas (em preto) que representam os teores totais de HTP antes do plantio das plantas de girassol e, comparando-as com as brancas (Figura 49), fica claro que os compostos oriundos do fluido são completamente volatilizados, não representando um impedimento ao crescimento vegetal.

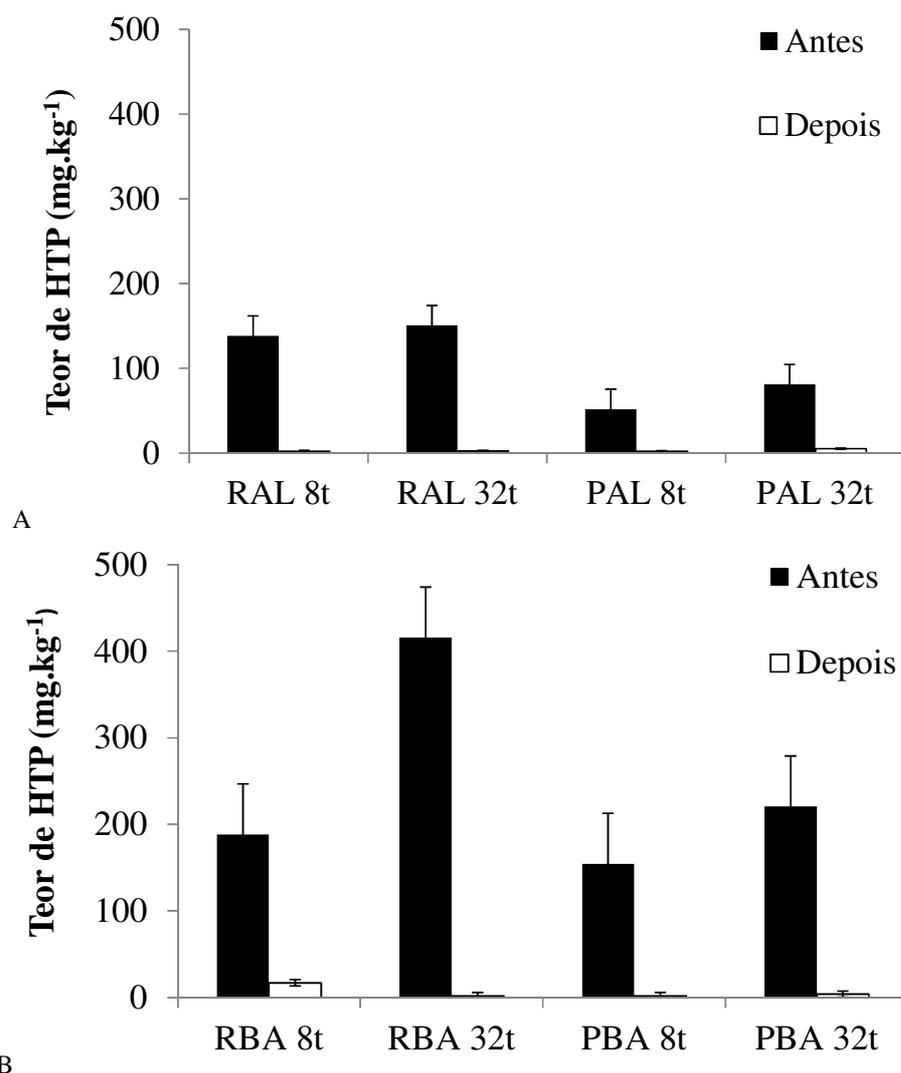


Figura 49. Total de hidrocarbonetos de petróleo (mg.kg^{-1}), antes e depois do crescimento de girassóis em substratos com doses de cascalhos de perfuração de poços coletados nos estados de Alagoas (A) e Bahia (B), com doses de 8 e 32 t.ha^{-1} , identificadas em promissoras e amostras restritivas. As barras indicam o erro padrão da média.

5.6.4 Cultivo de *Hordeum vulgare* - cevada

A Figura 50 mostra as plantas de cevada no dia da coleta. Os tratamentos que receberam amostras restritivas e promissoras com doses calculadas iguais a 8 t.ha^{-1} parece apresentar maior altura que a outra dose. De qualquer forma, é claramente perceptível maiores alturas e volume de massa verde que o tratamento controle (Figura 50 A).

Para as plantas de cevada crescidas nos substratos com cascalhos do poço da Bahia, percebe-se uma lógica diferente. Para as doses promissoras, a maior dose (32 t.ha^{-1}) apresenta maior volume de massa fresca e altura que a menor dose e o tratamento controle (Figura 50 B). Para os cascalhos adotados como restritivos, a menor dose permitiu maior volume de massa fresca e maior altura (Figura 50 B).

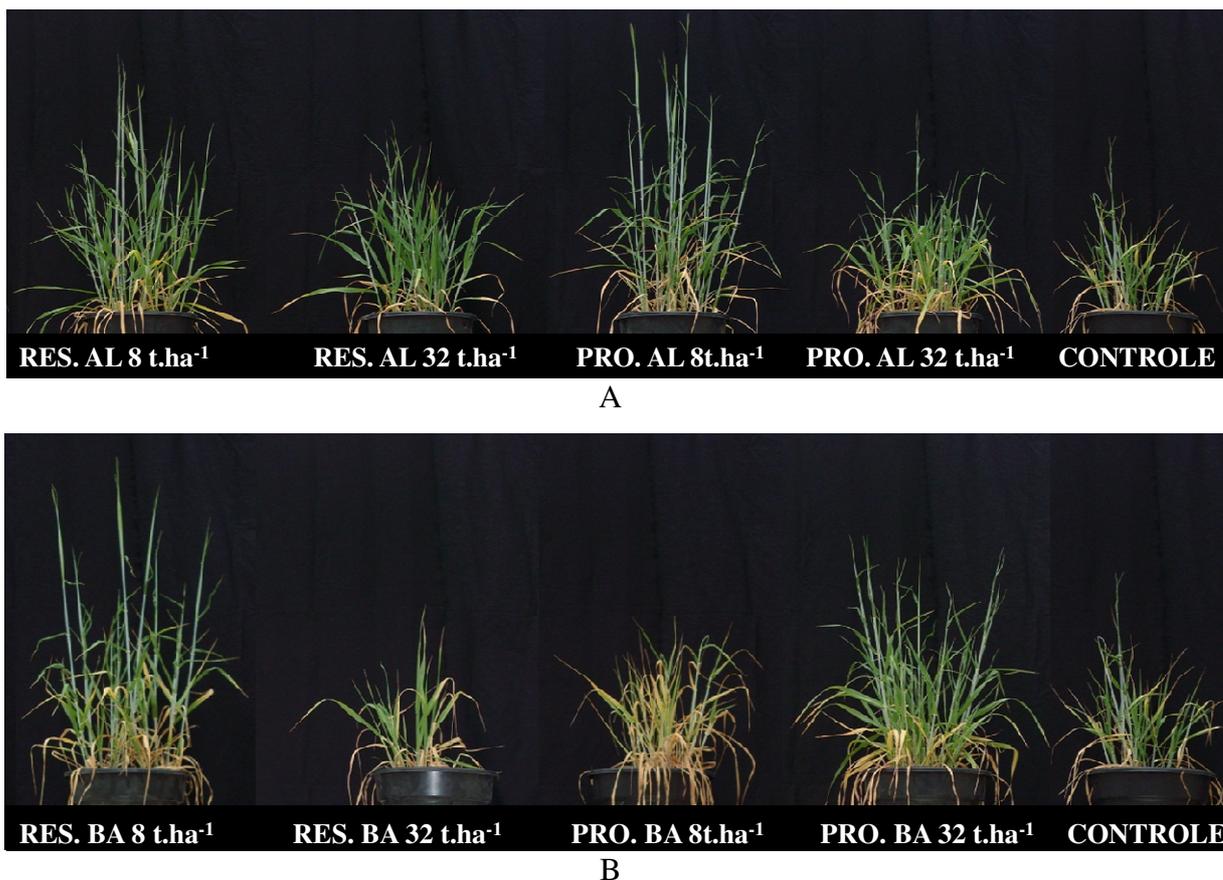


Figura 50. Plantas de cevada no dia da coleta do experimento, 70 dias após o plantio, crescidas em substratos com amostras restritivas (RES) e promissoras (PRO) dos cascalhos coletados em Alagoas (A) e na Bahia (B), comparadas com o controle.

A Figura 51 apresenta o ganho de massa seca de parte aérea das plantas de cevada crescidas em substratos com diferentes doses de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas e Bahia. Os resultados são apresentados de forma comparativa entre os dois cascalhos e suas doses calculadas e amostras identificadas como promissoras e restritivas.

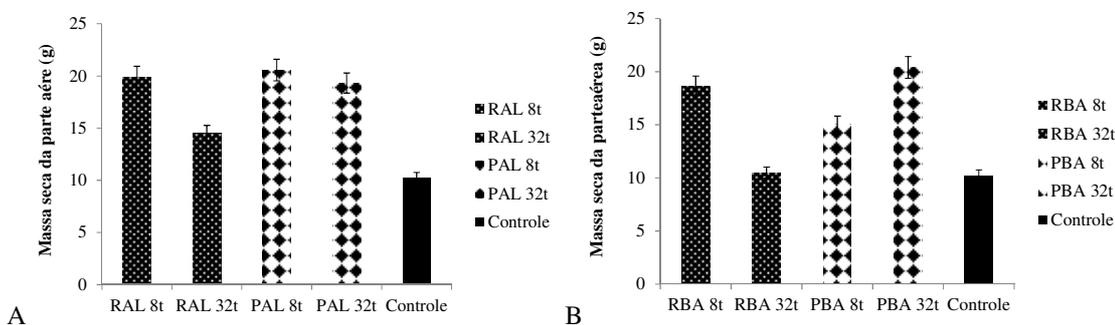


Figura 51. Massa seca (g) da parte aérea de plantas de cevada em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B). As barras indicam o erro padrão da média.

Para os tratamentos que continham amostras do poço coletado em Alagoas, as menores doses, tanto para restritivos quanto para promissores proporcionaram maior incremento de

massa seca (Figura 51 A). Esse resultado também está de acordo com a fotografia mostrada na Figura 50 A, no dia da coleta das plantas.

A Figura 51, assim como na discussão das plantas de girassol, comprova a fotografia no dia da coleta das plantas de cevada (Figura 50B), onde plantas crescidas no substrato com amostras promissoras do poço da Bahia obtiveram maior ganho de massa seca, na maior dose de cascalho e para os tratamentos com cascalhos adotados como restritivos, a menor dose permitiu maior volume de massa seca (Figura 51 B). De qualquer forma, para todos os tratamentos avaliados fica claro o maior incremento de massa seca das plantas de cevada em relação ao tratamento controle (Figura 50 e Figura 51).

A Figura 52 apresenta os resultados dos teores de Na e K na parte aérea para as plantas de cevada. Para as amostras adotadas como restritivas e promissoras do poço do estado de Alagoas, os teores de sódio na parte aérea nas plantas de cevada foram sempre maiores quanto maior foi a dose calculada (Figura 52A). O mesmo vale para os teores de K (Figura 52 B). Semelhante resultado ocorreu também nas amostras de cascalhos (promissoras e restritivas) do poço do estado da Bahia, tanto para sódio quanto para potássio (Figura 52 C e D).

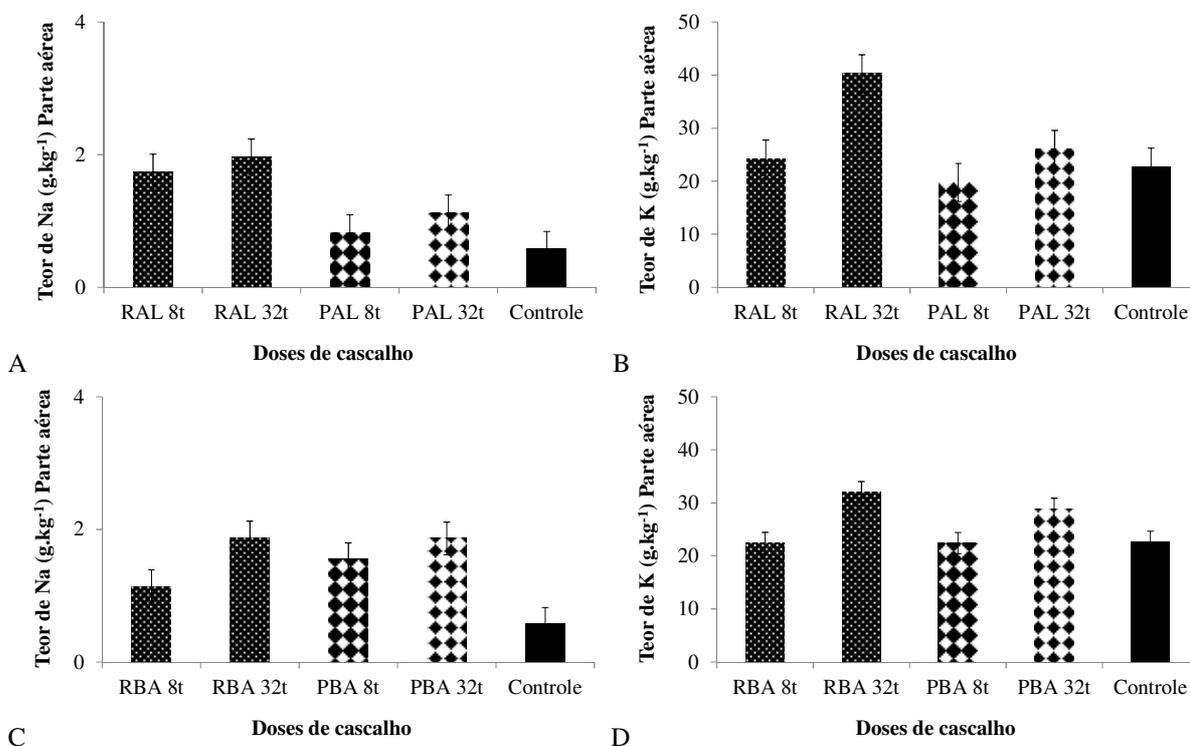


Figura 52. Teores de Na e K (g.kg⁻¹) na parte aérea de plantas de cevada, crescidas em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A e B) e Bahia (C e D). As barras indicam o erro padrão da média.

Na Figura 53 são apresentadas curvas que mostram a altura de plantas de cevada crescidas em substratos com diferentes doses de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B). Os resultados são apresentados de forma comparativa entre os dois cascalhos e suas doses calculadas e adotadas como promissoras e restritivas.

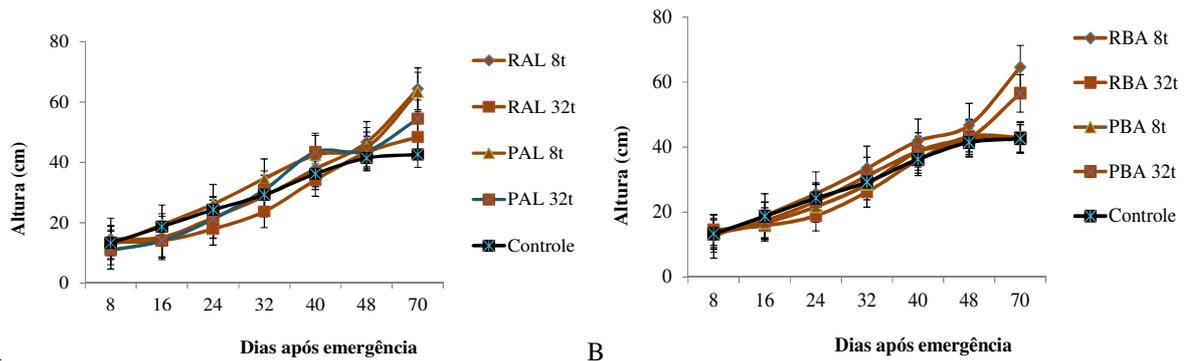


Figura 53. Altura de plantas de cevada (cm) crescidas em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B). As barras indicam o erro padrão da média.

Para o parâmetro altura de plantas de cevada (Figura 53), diferentemente do resultado encontrado para a altura das plantas de girassol, todos os tratamentos, sem dissociação de doses ou mesmo de cascalhos (de ambos os poços) e das doses calculadas (restritivas e promissoras) apresentaram crescimento linear e constante até o quadragésimo dia. Havendo destaque para maior altura nas doses menores (8 t.ha^{-1}) para o cascalho do poço de Alagoas, não ocorrendo distinção entre promissoras e restritivas (Figura 53 A). Para os cascalhos do poço da Bahia (Figura 53 B), as maiores alturas foram alcançadas nos tratamentos que continham as maiores doses da amostra promissora e a menor dose do cascalho com amostra restritiva (Figura 53 B).

A Figura 54 apresenta o ganho de massa seca de raízes de plantas de cevada crescidas em substratos com diferentes doses de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas e Bahia. Os resultados são apresentados de forma comparativa entre os dois cascalhos e suas doses calculadas e adotadas como promissoras e restritivas.

Para a massa seca de raiz, o maior incremento ocorreu na maior dose do cascalho promissor do poço de Alagoas (Figura 54 A) e nos tratamentos que receberam amostras restritivas, a maior dose se mostrou limitante ao crescimento e ou incremento de massa seca de raiz dessas plantas (Figura 54 A). Comportamento semelhante ocorreu nos tratamentos que foram contemplados com os cascalhos do poço do estado da Bahia (Figura 54 B).

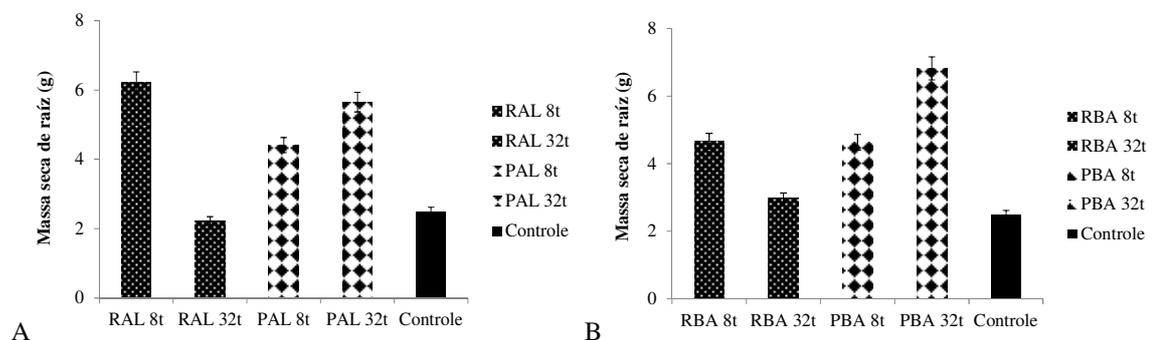


Figura 54. Massa seca de raízes(g) de plantas de cevada crescidas em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B). As barras indicam o erro padrão da média.

Os teores de sódio e potássio nas raízes de cevada são apresentados na Figura 55. Para todos os tratamentos com os cascalhos de Alagoas (promissoras e restritivas), o maior acúmulo de sódio e potássio ocorreu na maior dose de cascalho (32 t.ha⁻¹). Resultado semelhante foi encontrado nos tratamentos que continham amostras de cascalhos do poço coletado no estado da Bahia (Figura 55 A, B, C e D).

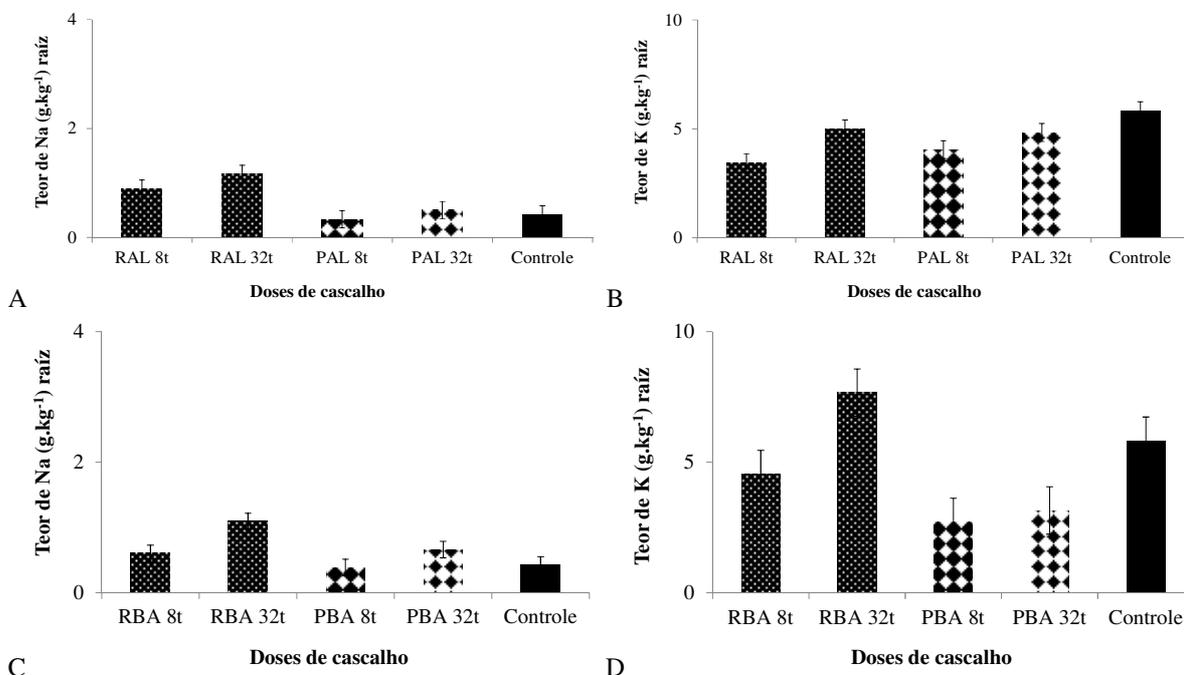


Figura 55. Teores de Na e K (g.kg⁻¹) em raízes de plantas de cevada crescidas em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A e B) e Bahia (C e D). As barras indicam o erro padrão da média.

Plantas de cevada e girassol mostram que o acúmulo de sódio foi tanto maior quanto maior o incremento desses na análise conjunta dos dados encontrados nos resultados para teor de sódio e potássio na parte aérea e raízes das elementos nos substratos propostos, ou seja, quanto maior o teor de Na e K nas amostras escolhidas para formar os tratamentos propostos, maior foi o acúmulo desses elementos nas espécies avaliadas. Entretanto o menor acúmulo de massa seca de raiz e parte aérea foi somente evidente em plantas de cevada nas amostras restritivas de ambos os poços, o que pode explicar maior tolerância dessa planta em relação à outra testada, já que segundo Loomis & Connor (1992) a cevada, mesmo considerada tolerante à salinidade, sofre inibição do crescimento muito mais em função do gasto de energia (para manutenção das funções dos tecidos). Assim, a diminuição da massa seca pode estar associada ao custo metabólico (Silva et al., 2007).

Sobre a relação e acúmulo de Na e K na parte aérea e raízes das plantas testadas, vários trabalhos apontam danos causados em tecidos de plantas e menor acúmulo de K, provocadas pelo excesso de NaCl, como é o caso dos efeitos relatados por Alves e colaboradores (2009) em plantas menos tolerantes, mas também outros apontam resultados mais animadores para plantas mais resistentes à salinidade (Cruz et al., 2006).

Nesse trabalho, percebe-se o potencial da cevada em relação ao girassol, quando da comparação do acúmulo de Na e K, entretanto necessita-se de mais estudos para avaliar melhor essa relação e dizer se uma pode ser usada em detrimento a outra em áreas de disposição de rejeitos salinos. A importância desse estudo vem de encontro a uma necessidade crescente do meio técnico científico no que tange ao uso da técnica de fitorremediação e ao

estudo do potencial de novas espécies bioacumuladoras. Em recente revisão sobre os aspectos técnicos e desafios sociais, econômicos e regulatórios envolvidos na fitorremediação de solos contaminados, Marques et al. (2011) concluem que grande parte dos trabalhos com plantas na recuperação de áreas contaminadas tem sido desenvolvidos em países de clima temperado, onde o potencial da fitorremediação é limitado por fatores climáticos. No Brasil, o conhecimento sobre o potencial fitorremediador das várias espécies de plantas, bem como as comunidades microbianas em solos tropicais é ainda muito escasso, o que, associado à falta de instrumentos de aferição e de apoio à decisão, dificulta a recomendação por parte das agências ambientais e empresas.

Segundo aqueles autores, para o mercado brasileiro, se faz necessário a criação de protocolos experimentais e instrumentos de apoio à decisão que estimulem a aplicação da fitorremediação nos casos em que ela se apresente como a opção mais adequada (Marques et al., 2011).

5.6.5 Análises dos substratos onde cresceram plantas de cevada

A Figura 56 apresenta a condutividade elétrica dos substratos onde cresceram plantas de cevada com diferentes doses de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B). Os resultados são apresentados de forma comparativa entre os dois cascalhos e suas doses calculadas (maior e menor) e adotadas como promissoras e restritivas.

Exceto na amostra restritiva do poço da Bahia, na maior dose calculada (32 t.ha^{-1}), todos os outros tratamentos apresentaram decréscimo na condutividade elétrica na medida em que ocorria o crescimento das plantas (Figura 56 A e B).

A Tabela 32 mostra o resultado para as análises dos teores disponíveis dos tratamentos com plantas de cevada em substratos que continham as amostras adotadas como promissoras e restritivas, dos dois poços em suas doses máximas e mínimas (8 e 32 t.ha^{-1}). O que pode ser observado é a completa redução do alumínio tóxico dos substratos, se comparado ao tratamento controle, em rigorosamente todos os tratamentos, independentemente de doses calculadas e adotadas como promissoras e restritivas (Tabela 32). Os valores para pH, soma de bases e do índice de saturação por bases (V%), aumentaram na medida em que se aumentavam as doses calculadas (de 8 para 32 t.ha^{-1}) em todos os tratamentos propostos, quando comparados ao tratamento controle. Entretanto a porcentagem de sódio trocável (PST), a CE aumentaram quando se aumenta as doses calculadas.

Esses resultados são bastante semelhantes aos encontrados nos tratamentos que continham plantas de girassol (Tabela 30) e reforçam a necessidade de mais estudos para se saber a quantidade máxima de aplicação (dose) por área (hectare) desse material ao solo.

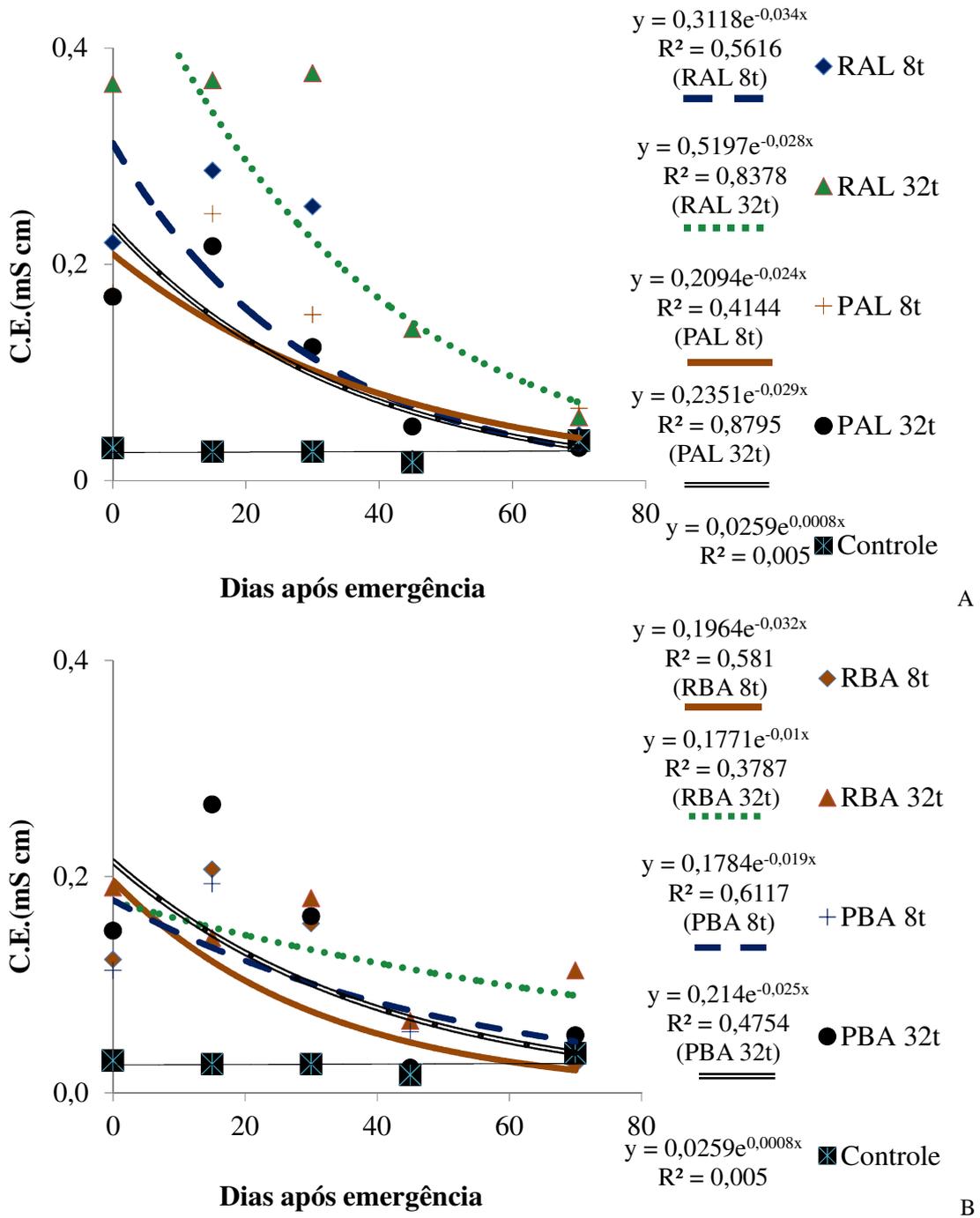


Figura 56. Condutividade elétrica (mS.cm) dos substratos onde cresceram plantas de cevada em doses adotadas como promissoras (P) e restritivas (R) de cascalho de perfuração de poços de petróleo dos estados de Alagoas (A) e Bahia (B).

Tabela 32. Resultado da análise química de terra em substratos onde cresceram plantas de cevada submetidas as doses de cascalho de perfuração.

pH H ₂ O	Complexo Sortivo								V ⁽³⁾	m ⁽⁴⁾	P ⁽⁵⁾	C ⁽⁶⁾	CE	PST	Cl ⁻
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB ⁽¹⁾	Al ³⁺	H ⁺	T ⁽²⁾							
-----cmol/kg-----								%	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mS.cm ⁻¹				
RESTRITIVA ALAGOAS – 8t.ha ⁻¹															
5,8 c	1,7 d	0,4 c	0,04 e	0,4 b	2,54 d	0,0 b	2,6 a	5,14 b	49,4 f	0,0 b	13 b	10,1 a	0,61 b	7,78 b	212,97 b
RESTRITIVA ALAGOAS – 32 t.ha ⁻¹															
6,1 c	2,5 c	0,6 b	0,10 a	0,9 a	4,1 b	0,0 b	1,6 b	5,7 a	71,9 c	0,0 b	19,7 a	10,6 a	1,52 a	15,78 a	571,57 a
PROMISSORA ALAGOAS - 8t.ha ⁻¹															
6,0 c	2,4 c	0,4 c	0,06 c	0,1 b	2,96 c	0,0 b	1,6 b	4,56 c	64,9 d	0,0 b	15,7 b	9,1 b	0,55 b	2,19 c	41,43 b
PROMISSORA ALAGOAS - 32 t.ha ⁻¹															
7,2 a	4,0 a	0,4 c	0,05 d	0,1 b	4,55 a	0,0 b	0,3 d	4,85 b	93,8 a	0,0 b	21,7 a	9,0 b	0,81 b	2,29 c	38,47 b
RESTRITIVA BAHIA - 8t.ha ⁻¹															
6,0 c	1,7 d	0,4 c	0,05 d	0,1 b	2,25 d	0,0 b	1,8 b	4,35 c	58,6 e	0,0 b	15,3 b	10,9 a	0,34 b	2,59 c	68,08 b
RESTRITIVA BAHIA - 32 t.ha ⁻¹															
6,5 b	2,7 b	0,6 a	0,08 b	0,3 b	3,68 b	0,0 b	0,8 c	4,48 c	82,1 b	0,0 b	18 a	10,0 a	0,60 b	6,69 b	119,53 b
PROMISSORA BAHIA - 8t.ha ⁻¹															
5,7 c	1,7 d	0,4 c	0,04 e	0,1 b	2,24 d	0,0 b	1,8 b	4,04 c	55,4 e	0,0 b	15 b	8,9 b	0,55 b	2,47 c	41,40 b
PROMISSORA BAHIA - 32 t.ha ⁻¹															
6,4 b	2,8 b	0,5 b	0,06 c	0,3 b	3,66 b	0,0 b	1,0 c	4,66 b	78,5 b	0,0 b	18,7 a	9,5 b	0,65 b	6,43 b	109,50 b
CONTROLE															
5,2 d	1,0 e	0,4c	0,07 c	0,1 b	1,57 e	0,3 a	2,3 a	4,17 c	37,6 g	18,75 a	13,3 b	9,0 b	0,38 b	2,39 c	41,40 b

⁽¹⁾SB= soma de bases trocáveis; ⁽²⁾T= CTC a pH 7,0; ⁽³⁾V= índice por saturação de bases; ⁽⁴⁾m= índice de saturação por alumínio; ⁽⁵⁾P= fósforo assimilável; ⁽⁶⁾C= carbono orgânico total.

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste *Scott-knott* ($p < 5$).

5.6.6 Análises dos teores totais de hidrocarbonetos de petróleo

A Figura 57 mostra o resultado para as análises dos teores totais de hidrocarbonetos de petróleo (HTP) antes e depois do experimento com plantas de cevada.

Observando as colunas (em preto) que representam os teores totais de HTP antes do plantio de cevada e comparando-as com as brancas (Figura 57), fica claro que os compostos oriundos do fluido são completamente volatilizados ao final do experimento, não sendo este um fator limitante ao crescimento dessa espécie.

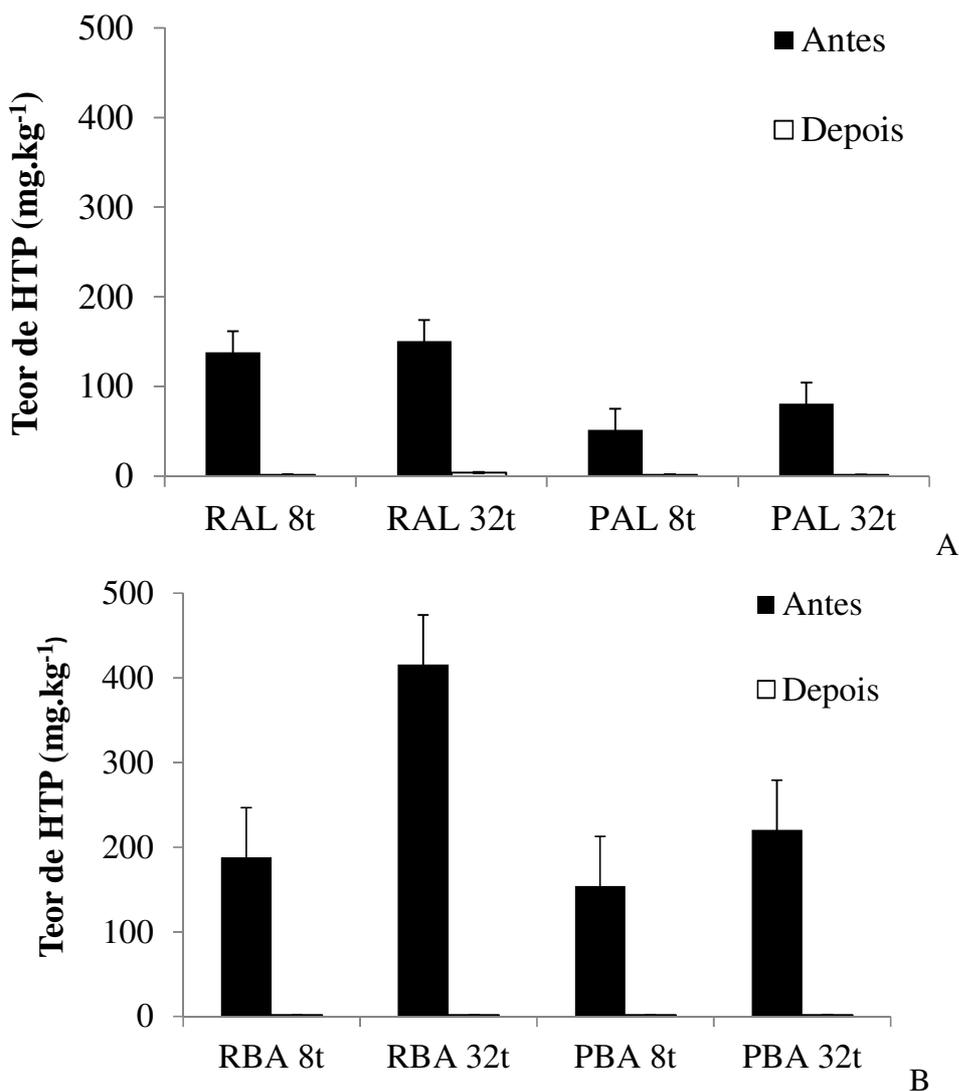


Figura 57. Teores de hidrocarbonetos de petróleo (mg.kg⁻¹), antes e depois do crescimento de plantas de cevada em substratos com doses de cascalhos de perfuração de poços coletados nos estados de Alagoas (A) e Bahia(B), com doses calculadas de 8 e 32 t.ha⁻¹, identificadas em promissoras e amostras restritivas. As barras indicam o erro padrão da média.

Fazendo uma análise conjunta dos resultados encontrados para os teores totais de hidrocarbonetos de petróleo (Figura 49) e (Figura 57), percebe-se que eles são semelhantes e indicam que os compostos presentes no fluido são facilmente degradados, independente da planta utilizada. Há trabalhos na literatura que mostram que essa degradação ocorre naturalmente, entretanto pode ser acelerada e muito mais eficiente se feita com a junção de

plantas e micro-organismos. Segundo Huang et al. (2005) a biorremediação de compostos provenientes de petróleo foi mais eficiente quando se fez uso de vários processos ou técnicas, em conjunto, para se degradar estes compostos. Os autores comparam a técnica do *landfarm*, a biorremediação (emprego só de microrganismos), o uso de plantas (fitorremediação) e o sistema de multiprocessos em comparação a um tratamento controle. O método mais eficiente foi justamente aquele em que todos os processos atuaram em concomitância.

Os resultados encontrados no capítulo II, III e IV mostraram sempre uma degradação variável das cadeias de carbono, influenciada por diferentes fatores, entretanto fica claro que a adoção de técnicas em conjunto podem ser de fato promissoras para lidar com resíduos orgânicos.

5.7 CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo permitiram concluir que:

- ✓ As plantas de girassol se mostraram mais sensíveis que as de cevada para as maiores doses adotadas, independentemente se a amostra era a promissora ou a restritiva. Isso ocorreu para os cascalhos dos dois poços.
- ✓ As plantas de cevada acumularam mais massa seca na parte aérea nas amostras de cascalho adotadas como promissoras do que nas amostras restritivas do poço do estado da Bahia.
- ✓ Nas plantas de cevada o acúmulo de sódio e potássio na parte aérea e nas raízes foi maior quanto maior a dose de cascalho calculada, independente da adoção entre promissora e restritiva.
- ✓ As curvas que mostraram a condutividade elétrica nos substratos, medida enquanto cresciam ambas as plantas mostram claramente uma diminuição em função do tempo de experimento, para todos os tratamentos adotados.
- ✓ Ocorreu aumento nas bases trocáveis do solo, tanto nos substratos onde cresceram girassóis quanto naqueles com cevada. Esse aumento foi sempre maior nos tratamentos com dose igual a 32 t.ha⁻¹ em relação aos tratamentos com a menor dose (8 t.ha⁻¹) e ao tratamento controle.
- ✓ A degradação dos totais de hidrocarbonetos de petróleo foi praticamente a zero (mg.kg⁻¹) após os 70 dias de cultivo das duas espécies.
- ✓ A separação dos cascalhos em doses se mostrou mais eficiente que a separação em amostras promissoras e restritivas.

CAPÍTULO V

6 RELAÇÃO ENTRE DEGRADAÇÃO DE HIDROCARBONETOS E A LIBERAÇÃO DE SÓDIO PRESENTE NO CASCALHO DE PERFURAÇÃO

6.1 RESUMO

Os cascalhos de perfuração são rochas moídas embebidas em fluidos de perfuração. Fluidos, por sua vez, são misturas complexas de base aquosa e/ou não aquosa, utilizados na perfuração de poços de petróleo. O fluido de base não aquosa é, na verdade, uma emulsão de água em óleo, também chamado de base orgânica ou fluido base óleo. Ou seja, as gotas de água ficam encapsuladas pelo óleo ou outro composto, tendo maior dificuldade de interagir com as camadas argilosas da área de locação e ou prospecção do poço. Esse óleo é, na verdade, composto de n-parafinas. Os fluidos são sempre alcalinos e sais de sódio são largamente utilizados para manter propriedades reológicas importantes para a estabilidade do poço durante a perfuração. Já ficou demonstrado nesse estudo que os limitantes para aplicação desse material ao solo são o sódio e os hidrocarbonetos de petróleo. O que não está claro é a relação entre esses dois componentes dos fluidos de base orgânica que impregnam os cascalhos de perfuração. Uma hipótese levantada é que na medida em que as cadeias de hidrocarbonetos vão sendo degradadas, começa a ocorrer a liberação de sais de sódio para o sistema. Para tentar elucidar mais essa questão, foi feito um rápido ensaio com a camada superficial de um Planossolo sem adição de nenhum material (controle) e mais quatro tratamentos contendo quatro doses crescentes de cascalho de perfuração e outros quatro tratamentos com essas mesmas doses crescentes de cascalho em conjunto com doses iguais (10 Mg.ha^{-1}) do mesmo resíduo utilizado no capítulo I e II desse estudo (torta de mamona). Os resultados mostraram que a degradação dos hidrocarbonetos totais de petróleo ocorreu de forma mais rápida quando havia combinação dos resíduos. Os outros parâmetros avaliados, Na total, Na trocável, pH e CE, tiveram sempre redução acentuada, ao final do período de incubação, sendo possível inferir que ocorreu liberação de sódio para o meio à medida em que ocorria degradação das cadeias de hidrocarbono.

Palavras chave: Lama de perfuração. Hidrocarbonetos. Prospecção de poços.

6.2 ABSTRACT

The drill cuttings are crushed rocks embedded in drilling fluids. Fluids, in turn, are complex mixtures of aqueous base and / or non-aqueous used in drilling oil wells. The non-aqueous base fluid is, actually, an emulsion of water in oil, also called organic base or oil base fluid. That is, water droplets are encapsulated by oil or other compound, with greater difficulty to interact with the clay layers in the location area and or the prospection of oil wells. This oil is actually composed of n-paraffins. The fluids are always alkali and sodium salts widely used to maintain important rheological properties to the stability of the well during drilling. It has already been demonstrated in this study that the limiting application of this material for the soil are sodium and petroleum hydrocarbons. What is not clear is the relationship between these two components of the organic base fluids that impregnate the drill cuttings. One hypothesis is according as the hydrocarbon chains are being degraded the release of sodium salts to the system initiates. To try to elucidate this issue further, it was made a quick test with soil samples from the surface layer of a Fragiudult, without addition of any materials (control), and four treatments with four increasing doses of drill cuttings, and other treatments with increasing doses of these same drill cuttings with equal doses (10 Mg ha^{-1}) of the same residue used in Chapter I and II of this study (castor bean cake). The results showed that the degradation of total petroleum hydrocarbons occurred more rapidly when the residues were combined. The other parameters evaluated, Na total, Na exchangeable, pH and EC always sharply declined at the end of the incubation period, and it is possible to infer that sodium releasing occurred for the medium as the degradation of hydrocarbon chains occurred.

Key words: Drilling mud. Hydrocarbons. Prospecting wells.

6.3 INTRODUÇÃO

Entender a dinâmica de contaminação de um determinado resíduo no ambiente é, sem dúvida, a melhor maneira de tratá-lo. Compreender seus riscos e forma de dispersão pode desenvolver técnicas mitigadoras e mais seguras para atenuar esses riscos e/ou efeitos ou ainda eliminá-los completamente do sistema.

A literatura no país é escassa em estudos com cascalhos de perfuração de poços de petróleo quanto aos seus efeitos em solos e plantas. Entretanto, já se sabe que a disposição desse material em terra e mar está atrelada aos teores de sódio e hidrocarbonetos de petróleo neles presentes.

Esse capítulo tem por objetivo tentar entender a dinâmica e a relação das quantidades de sais presentes nos fluidos e as cadeias de hidrocarbonetos de petróleo.

Para tanto se fez a incubação de diferentes tratamentos com cascalho de perfuração e torta de mamona em vasos de 10 L, fechados, contendo amostras oriundas da camada superficial de um Planossolo por cerca de 50 dias. Nesse período, oito amostras semanais e consecutivas de terra foram tomadas, incluindo o “tempo zero”, diretamente dos vasos para avaliação do pH do solo, teor de sódio trocável, teor de sódio total no solo e o total de hidrocarbonetos de petróleo. Além disso, foram também, feitas aferições da condutividade elétrica, diretamente nos vasos. Os vasos foram sempre mantidos a 80% da capacidade máxima de retenção de umidade.

6.4 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo Vaqueiro (2006), que realizou trabalho avaliando o potencial de contaminação de aquíferos a partir da perfuração de poços de petróleo utilizando fluido n-parafina, os fluidos de perfuração base óleo, também chamados de base orgânica, são fluidos bastante utilizados em poços de perfuração de petróleo – sobretudo no Recôncavo baiano, por configurarem maior estabilidade ao poço, evitando seu desmoronamento. Entretanto, entre os compostos presentes nesse tipo de fluido, a n-parafina, o sódio e cloreto se destacam no que tange ao interesse e preocupação ambiental por representarem agentes potenciais de contaminação. Principalmente porque durante a perfuração de poços de petróleo, aquíferos contendo água doce, podem ser atravessados e a interação dos compostos presentes nesse tipo de fluido podem gerar sérios problemas ambientais.

Ainda de acordo com a literatura (Souza & Lima, 2002; Vaqueiro, 2006), estes fluidos são, na verdade uma emulsão inversa, pois gotas de água ficam encapsuladas pelo óleo ou outro composto, tendo maior dificuldade de interagir com o meio. Além disso, o cloreto de sódio (sal), - presente no fluido – ocorre em concentrações muito elevadas e é caracterizado por grande mobilidade no aquífero (Vaqueiro, 2006).

O efeito dos sais nos solos ocorre basicamente pela interação eletrolítica existente entre os sais e a argila. A intensidade deste fenômeno depende da natureza da argila e do cátion presente. A característica principal deste efeito é a dispersão da argila, devido à predominância de cargas negativas, de íons sódio e das forças repulsivas na dupla camada difusa. Este fenômeno reduz a floculação e a estabilidade de agregados do solo, reduzindo sua porosidade e capacidade de retenção e infiltração de água no solo. Além das propriedades físicas, a fertilidade do solo também é afetada pela alta concentração de sais, devido ao aumento da condutividade elétrica, e a presença dos ânions, como cloretos, sulfatos, carbonatos e bicarbonatos na solução do solo, podendo levar à deficiência de alguns nutrientes e toxidez por outros (Freire & Freire, 2007).

Quanto aos parâmetros para classificar um solo salino, o mais utilizado mundialmente é a de Richards (1954), que é também adotado pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). Para distinção dessas categorias, tomou-se, como base, que a uma condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CE) de 4 ds m^{-1} , ocorre 50% de redução na produção da maioria das culturas agrícolas, sendo este o valor crítico proposto para distinguir solos salinos de não salinos. Da mesma forma, com uma porcentagem de sódio trocável no solo igual ou superior a 15%, suas propriedades físicas, especialmente a condutividade hidráulica, são afetadas, tornando-se este valor como limite para diferenciar solos sódicos dos não sódicos. Os solos salino-sódicos apresentam, simultaneamente, elevadas concentrações de sais solúveis e de Na trocável (Richards, 1954).

6.5 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi montado em casa de vegetação, em vasos fechados, de medida certa e conhecida de 10 L. Utilizaram-se dois resíduos da indústria de energia, a torta de mamona (descrita no Capítulo II desse trabalho) e o cascalho de perfuração oriundo da 6ª amostra composta do equipamento secador do poço 98D-7MGP, coletado no estado da Bahia, combinados em doses mostradas na tabela 33. O solo utilizado foi o mesmo Planossolo descrito no capítulo II desse estudo.

Tabela 33. Tratamentos utilizados no experimento que mediu os teores de sais disponibilizados após a degradação das cadeias de hidrocarbonetos de petróleo.

Tratamentos	Cascalho (em Mg.ha ⁻¹)	Torta de mamona (em Mg.ha ⁻¹)
1	0	0
2	8	0
3	16	0
4	32	0
5	64	0
6	8	10
7	16	10
8	32	10
9	64	10

Após a incorporação das doses propostas, seguiu-se a condução do experimento por 50 dias. A condução consistiu em coletas regulares, durante 8 semanas, de amostras do substrato do vaso para determinações de pH, sódio total, sódio trocável, hidrocarbonetos totais de petróleo e condutividade elétrica. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado. Os vasos foram mantidos em casa de vegetação e com capacidade de campo igual a 80%.

6.5.1 Análises estatísticas dos dados

Os dados foram analisados através de comparações entre médias e à normalidade dos erros de cada parâmetro avaliado.

6.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 58 mostra as curvas de pH obtidas ao longo de 8 coletas regulares e consecutivas em substratos com doses de cascalho de perfuração incubadas em um Planossolo (A) e doses combinadas de cascalho e torta de mamona em um Planossolo (B).

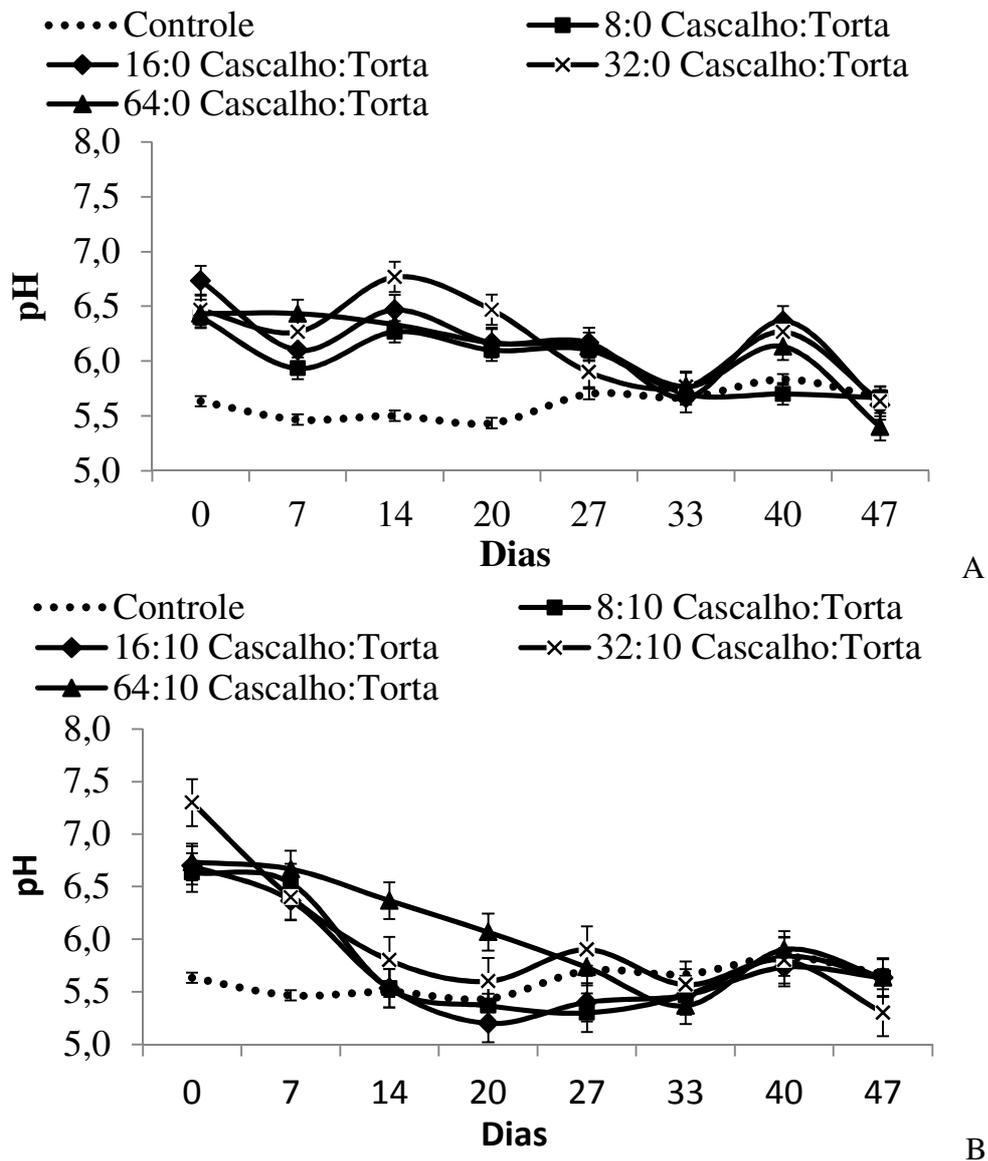


Figura 58. Valores de pH medidos ao longo de 8 coletas semanais em experimento contendo doses de cascalho em Planossolo (A) e doses combinadas de cascalho com torta de mamona (B). As barras indicam o erro padrão da média.

Ao longo do experimento foi verificada uma leve queda nos valores medidos de pH de todos os tratamentos propostos (Figura 58). Entretanto, para os tratamentos que continham apenas cascalho, sem as doses combinadas de torta de mamona, ocorreram dois picos de elevação dos valores medidos para essa variável, um no décimo quarto dia e outro no quadragésimo (Figura 58 A). Entretanto, para os tratamentos que continham a torta de

mamona combinada com os cascalhos, a diminuição do pH foi mais acentuada, com um pico de aumento também no quadragésimo dia, mas aqui, alcançando valores menores - cerca de 6,0 para quase todos os tratamentos contra 6,5 das doses de cascalho sem torta – (Figura 58).

A figura 59 mostra as curvas da condutividade elétrica medidas diretamente nos vasos que continham os tratamentos propostos nesse estudo. Assim, como nos valores de pH ocorre uma diminuição na medida em que as semanas passam, para todos os tratamentos. Sejam eles a combinação de cascalho com torta ou cascalho puro (Figura 59).

A figura 60 mostra as curvas para os valores de sódio trocável, obtidas ao longo da condução do experimento. Os tratamentos que continham as maiores doses de cascalho, combinadas ou não com a torta de mamona apresentaram pontos altos e baixos durante as 8 medições. Os pontos altos de valores obtidos estão exatamente no vigésimo e quadragésimo dia (Figura 60 A e B). Para os tratamentos que continham apenas cascalhos, esses picos foram mais acentuados e alcançaram maiores valores de sódio trocável, especialmente a segunda maior dose -32 Mg. ha⁻¹ (Figura 60 A).

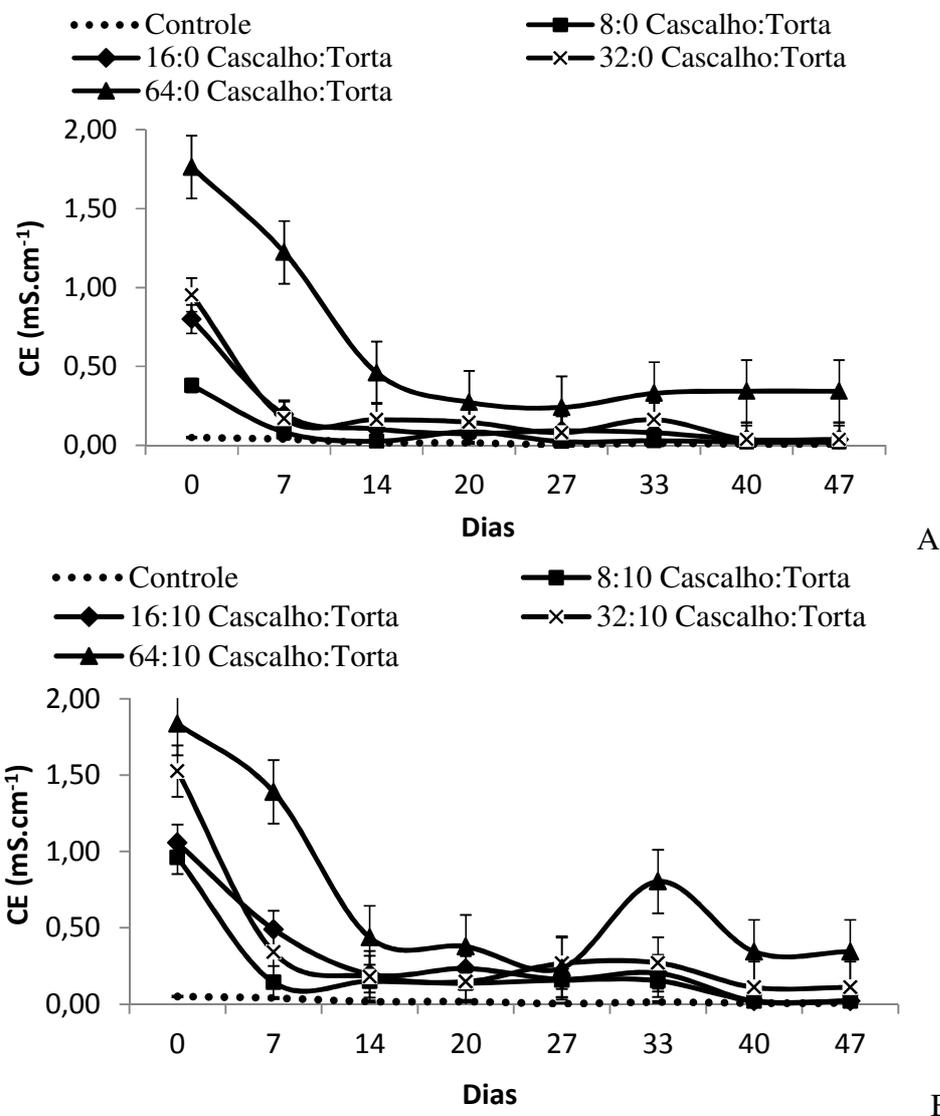


Figura 59. Condutividade Elétrica (mS.cm) medida em intervalos semanais coletadas em experimento contendo doses de cascalho em Planossolo (A) e cascalho combinado com torta de de mamona (B). As barras indicam o erro padrão da média.

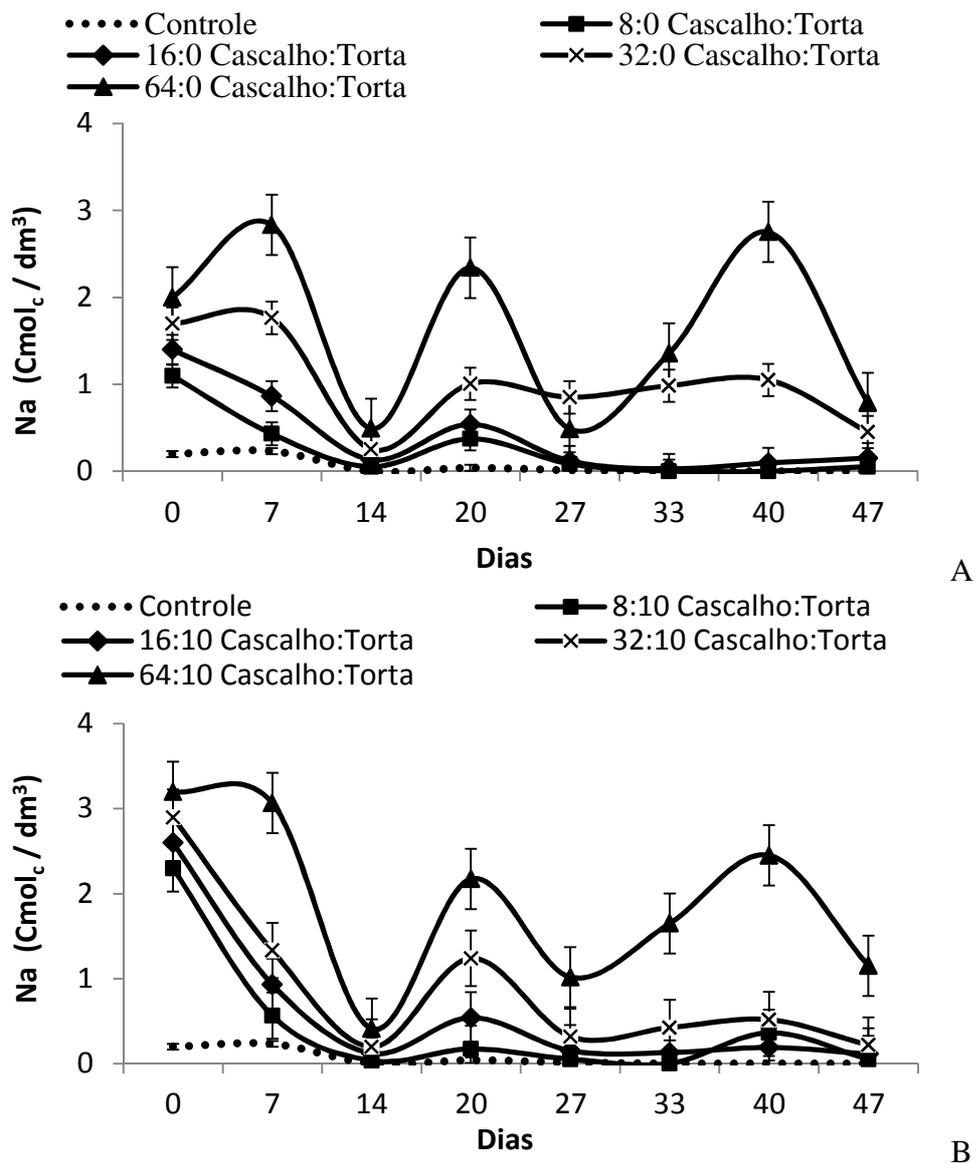


Figura 60. Teores de sódio trocável ($\text{Cmol} \cdot \text{dm}^{-3}$), medidos ao longo de 8 coletas semanais em experimento contendo doses de cascalho em Planossolo (A) e doses combinadas de cascalho com torta de mamona (B). As barras indicam o erro padrão da média.

A Figura 61 apresenta curvas que mostram os valores de sódio total, obtidas ao longo da condução do experimento. É possível observar que o sódio total, para todos os tratamentos propostos (com e sem combinação da torta) assume valores próximos a zero, ao final do tempo de incubação (Figura 61). Excetuando-se aqui, apenas o tratamento de maior dose (64 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) que apresentou maior valor ao final da incubação (Figura 61 A). Mais uma vez, os tratamentos que tiveram combinação da torta com o cascalho proporcionaram valores, na média, mais baixos para esse parâmetro avaliado.

A Figura 62 apresenta as curvas que mostram os valores de hidrocarbonetos totais de petróleo, ao longo do experimento.

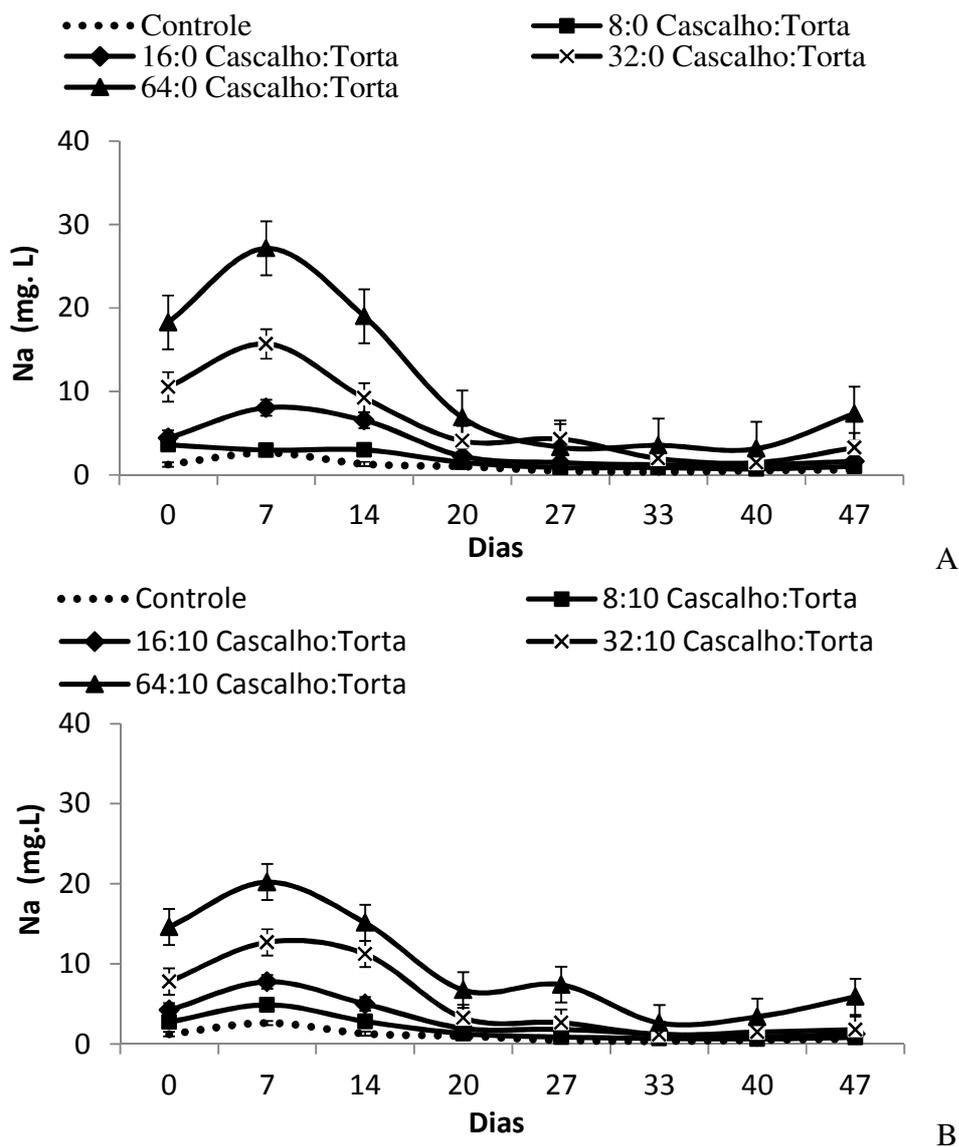


Figura 61. Teores de sódio (mg.L^{-1}) totais, medidos ao longo de 8 coletas semanais em experimento contendo doses de cascalho em Planossolo (A) e doses combinadas de cascalho com torta de mamona (B). As barras indicam o erro padrão da média.

As curvas de degradação das cadeias de hidrocarbonetos no tempo, ao longo da incubação do solo, revelam comportamentos diferentes para os tratamentos que continham doses combinadas de cascalho e torta de mamona e aqueles que não continham essa mistura. Observando a Figura 62 A, os tratamentos que possuíam as duas maiores doses de cascalho, respectivamente 32 t.ha^{-1} e 64 t.ha^{-1} precisam de 14 dias para se assemelharem aos tratamentos restantes (Figura 62 A). Já os tratamentos que continham doses de cascalho de perfuração combinadas com a torta de mamona apresentam as curvas em mesma tendência logo após o sétimo dia de incubação (Figura 62 B).

Observa-se que a torta de mamona acelerou o processo de degradação dos compostos orgânicos contidos no cascalho e que, mesmo a maior dose combinada com a torta teve, por comparação, maior grau de degradabilidade (Figura 62 B) do que quando pura, ou seja, 64 t.ha^{-1} (Figura 62 A). Também pode se estabelecer uma relação entre a degradação das cadeias de hidrocarbonetos e a disponibilidade de sódio trocável a partir da comparação das Figuras 62 A com a Figura 60 A, bem como a Figura 62 B com a Figura 60 B, uma vez que, de acordo com Souza & Lima, 2002; Vaqueiro, 2006, os fluidos de base orgânica, nos cascalhos de

perfuração usados nesse estudo são de emulsão inversa, onde as gotas de água ficam encapsuladas pelo óleo.

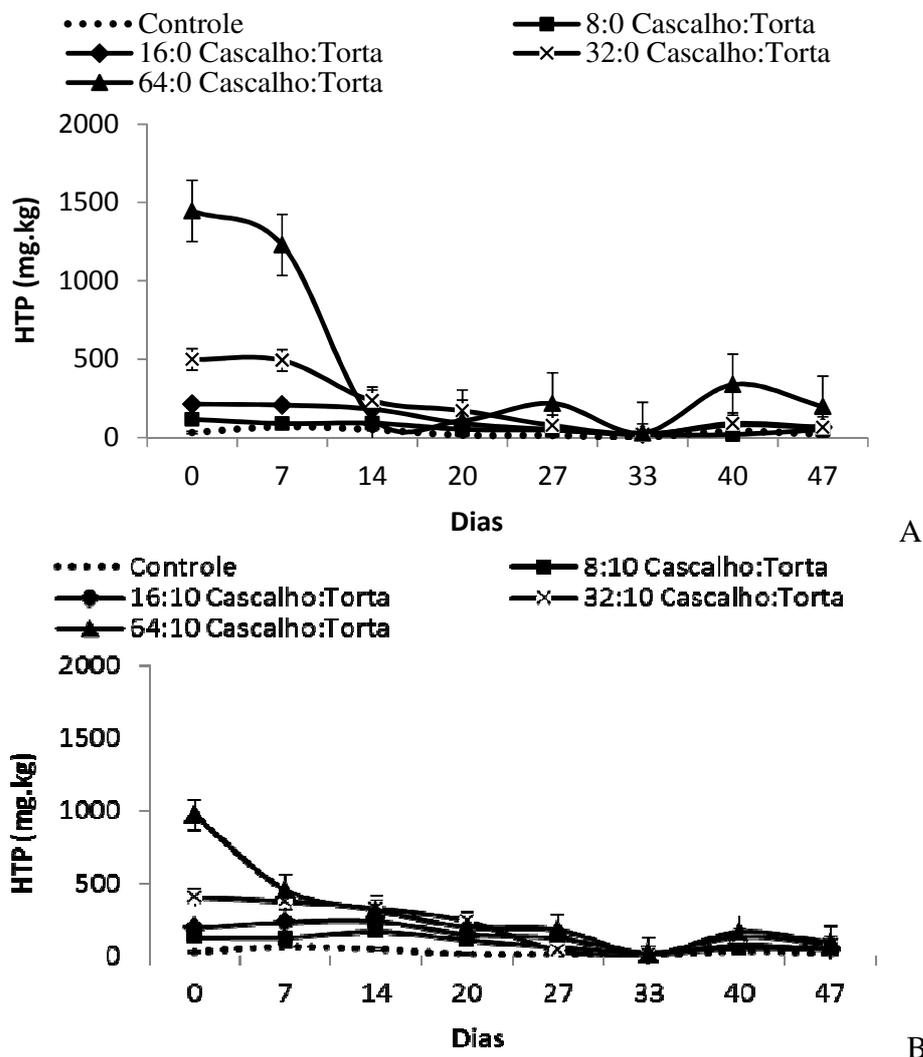


Figura 62. Teores totais (mg.kg^{-1}) de hidrocarbonetos de petróleo (HTP) medidos ao longo de 8 coletas semanais em experimento contendo doses de cascalho em Planossolo (A) e doses combinadas de cascalho com torta de mamona (B). As barras indicam o erro padrão da média.

Isso poderia explicar a maior concentração ou os picos de maiores concentrações (teores) de sódio trocável no meio, à medida que se degradam as cadeias de hidrocarbonetos totais de petróleo, que são, na verdade compostos de cadeia compreendida entre C_{12} e C_{16} , caracterizando n-parafina, já vistas, no capítulo II, deste trabalho com completa degradação ao longo de 70 dias (Figuras 49 e 57). Outros fatores poderiam ter interagido e mascarado a disponibilidade de sódio total ou trocável no solo. A competição por micro-organismos poderia ser um desses fatores, entretanto isso não foi avaliado neste trabalho, uma vez que o foco era mensurar a contribuição de sódio, advinda do fluido e compará-la com o tempo de degradação dos compostos orgânicos presentes no cascalho.

A caracterização da microbiota nesses substratos incubados, ou mesmo o crescimento de plantas, associadas a esses micro-organismos (biorremediação), poderia explicar a quase ausência de sódio total no solo a partir do vigésimo dia. Ou seja, até aquele momento, as plantas estariam absorvendo este elemento.

6.7 CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo permitiram concluir que:

- ✓ As curvas do total de hidrocarbonetos mostraram uma degradação mais eficiente e mais rápida quando havia combinação com a torta de mamona.
- ✓ Os valores de pH, e condutividade elétrica da pasta saturada mostraram quedas acentuadas, na medida em que o tempo de incubação aumentava.
- ✓ É possível inferir que há uma relação direta da degradação das cadeias de hidrocarbonetos de petróleo presentes no fluido e a liberação de sódio nos substratos propostos.

7 CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados permitem concluir de forma geral que:

- ✓ Os cascalhos de perfuração devem ser classificados como resíduos Classe IIA – Não perigosos e Não Inertes.
- ✓ A segregação dos cascalhos, feita de forma inédita ainda no campo, permitiu separá-los em dois materiais distintos, um com bastantes constituintes ligados a rocha matriz, originária da própria área de locação do poço e outro com constituintes inerentes a constituição do fluido de perfuração.
- ✓ Os cascalhos de perfuração são resíduos alcalinos e possuem sódio livre em sua constituição.
- ✓ Os cascalhos de perfuração possuem também, em sua constituição, teores de cálcio, magnésio e potássio que poderiam representar um aporte de nutrientes essenciais ao crescimento vegetal.
- ✓ Os cascalhos, quando aplicados ao solo, aumentam os teores das bases trocáveis deste. Além de aumentarem também a condutividade elétrica e a porcentagem de sódio trocável
- ✓ A degradação das cadeias de hidrocarbonetos totais de petróleo foi praticamente de 100% quando ocorreu combinação de plantas mais adaptadas a ambientes salinos.
- ✓ A quantificação microbiana, junto com diferentes taxas de degradação dos hidrocarbonetos de petróleo, em vários momentos, nesse trabalho, mostrou a dificuldade de se estabelecer uma dose máxima permitida de aplicação desse material por área.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Utilização de resíduos sólidos. ABNT NBR 10004:2004 – Resíduos sólidos – Classificação. 71p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Utilização de resíduos sólidos. ABNT NBR 10005:2004 – Procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. 16p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Utilização de resíduos sólidos. ABNT NBR 10006:2004 – Solubilização de resíduos sólidos. 3p.
- ABREU Jr, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T. & KIEHL, J.C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. *Tópicos Ci. Solo*, 4:391-470, 2005.
- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F. ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 299-352.
- ADENIYI, A. A. & AFOLABI, J. A. Determination of total petroleum hydrocarbons and heavy metals in soils within the vicinity of facilities handling refined petroleum products in Lagos metropolis. *Environmental International*, vol. 28, pp. 79-82. 2002
- ALVES, F.A.L.; SILVA, S.L.F.; SILVEIRA, J.A.G.; PEREIRA, V.L. A. Mecanismos fisiológicos envolvidos com a diminuição de K^+ em raízes de cajueiro causada por NaCl. *Ver. Ciênc. Agron*, Fortaleza, v.40, n.4, p.588-595, 2009.
- ANDRADE, J. C. DA MATTA; TAVARES, S. R. DE LUCENA; MAHLER, C. F. *Fitorremediação – o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental – Rio de Janeiro. Oficina de Textos*, 2007. 176p.
- AROCENA, J.M.& RUTHERFORD, P.M. Properties of hydrocarbon- and salt-contaminated flare pit soils in northeastern British Columbia (Canada). *Chemosphere* 60 (2005) 567–575.
- ARIAS, M. E.; GONZÁLEZ-PÉREZ, J. A.; GONZÁLEZ-VILA, F. J.; BALL, A. S. Soil health - a new challenge for microbiologists and chemists. *Intern. Microbiol.* 2005, 8, 13.
- ASHRAF, M. & HARRIS P.J.C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science* 166 (2004) 3–16.
- ATAGANA HI, HAYNES RJ, WALLIS FM. Fungal Bioremediation of creosote contaminated soil: a laboratory scale bioremediation study using indigenous soil fungi. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2006; 172:201-219.
- AUTRY, A.R. & ELLIS, G.M. Bioremediation: An effective remedial alternative for petroleum hydrocarbon-contaminated soil. *Environmental Progress*, vol. 11, n.4, pp. 318-323. 1992.
- BARKLA, B.J.; VERA-ESTRELLA, R.; BALDERAS, E.; PANTOJA, O. Mecanismos de tolerancia a la salinidad en plantas. *Biotecnología* V14, 2007.
- BAUDER, T. A.; BARBARICK, K. A.; IPPOLITO, J. A.; SANAHAN, J. F. & AYERS, P.D. Soil properties affecting wheat yields following drilling-fluid application. *Journal of Environmental Quality*. n.34, 1687-1696. 2005.

BRASIL, 2005. Ministério da Agricultura - Instrução Normativa Nº 23, DE 31 DE AGOSTO DE 2005. Aprova as Definições e Normas Sobre as Especificações e as Garantias, as Tolerâncias, o Registro, a Embalagem e a Rotulagem dos Fertilizantes Orgânicos Simples, Mistos, Compostos, Organominerais e Biofertilizantes Destinados à Agricultura.

BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soils*, v. 19, n. 4, 1995, p. 269-279.

BURKE, C.J; VEIL, J.A. Synthetic drilling muds:Environmental gain deserves regulatory confirmation. In: SPE/EPA EXPLORATION & PRODUCTION ENVIRONMENTAL CONFERENCE. Huston. SPE29737, p.457-468. 1995.

CAMARGO F. A. de O.; SANTOS, G. de A.; GUERRA, J. G. M. Macromoléculas e Substâncias Húmicas. In: SANTOS, G.A; CAMARGO, F.A.O. (ed.), Fundamentos da matéria orgânica do solo - Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 27-39. v. 1. 508p.

CARDOSO, E.J.B.N.; FREITAS, S.S. A rizosfera. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (Ed.). Microbiologia dos Solos. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 41-58.

CASTELLI, A.V. Well Drilling Materials .In: Industrial Mineral and Rocks. 6 ed. p.1113-1118. Donald C. Car, 1994.

CETESB. 6530 Lista holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea – Valores STI. Manual de gerenciamento de subáreas Contaminadas / CETESB, GTZ. 2.ed. São Paulo:CETESB, 2001. 389 p.

CETESB. Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências. Decisão de Diretoria Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005: CETESB, 2005.

CLARK, F. E. Agar-plate method for total microbial count. In:BLACK, C.A.; EVANS, D. D.; ENSMINGER, L.E.; WHITE, J.L.;CLARK, F.E. Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.2, p.1460-1466.

CORRÊA, M.M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. FONTES, M. P. F.; CURI, N. Propriedades cristalográficas de caulinitas de solos do ambiente tabuleiros costeiros, Amazônia e Recôncavo Baiano. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1857-1872, 2008.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C.R.; COELHO, E. F.; CALDAS, R.C.; ALMEIDA, A.Q.; QUEIROZ, J. R. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. *Bragantia*, Campinas, v.65, n.2, p.275-284, 2006.

DEL'ARCO, J. P. Degradação de hidrocarbonetos por bactérias e fungos em sedimento arenoso. Dissertação. (Mestrado em ciências). 1999. 171p. UFRJ/EQ Rio de Janeiro.

DIAS, G.J; COUTINHO, A.L.G.A.; MARTINS, R. P. Modelagem tridimensional do lançamento de cascalhos de perfuração de poços de petróleo em águas profundas. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. 2004.

DUARTE, R.G. Avaliação da interação folhelho-fluido de perfuração para estudos de estabilidade de poços. 2004. 121p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro – RJ.

DURRANT, L.R.; VASCONCELOS, C.K.; CLEMENTE, A.R. Estudo da degradação de hidrocarbonetos policíclicos por fungos lignolíticos para aplicação em processo de

biorremediação. In: Biodegradação. MELO, I. S., SILVA, C. M. M. S., SCRAMIN, S., SPESSOTO, A. Embrapa Meio ambiente – Jaguariúna, SP, 2001. 211-213, 426p.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa Solos, Rio de Janeiro. 1997. 212p.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª Ed. Brasília, Embrapa Produção de Informação, 2006. 306p.

EPA - Environmental Protection Agency. SW-846 – Test methods for evaluating solid wastes – USEPA 8015B, non-halogenated organic using GC/FID; SW-846 – Test methods for evaluating solid wastes – USEPA 8270, Semivolatile organic compounds by gas chromatography/Mass spectroscopy. On-line. Acesso em outubro 2005.

FARIAS, K. V.; AMORIM, L. V.; LIRA, H. L. Desenvolvimento de fluidos aquosos para aplicação em perfuração de poços de petróleo – Parte I. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.4.1 (2009)14-25.

FERGUSON, A. S.; HUANG, W. E.; LAWSON, K. A.; DOHERTY, R.; GIBERT, O.; DICKSON, K. W.; WHITELEY, A. S.; KULAKOV, L. A.; THOMPSON, I. P.; KALIN, R. M.; LARKIN, M. J. J. App. Microbial analysis of soil and groundwater from a gasworks site and comparison to a sequenced biological reactive barrier remediation process. Journal of Applied Microbiology. 2007, 102, 1227

FLOWERS, T.J. & FLOWERS, S.A. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? Agricultural Water Management 78 (2005) 15–24.

FRAGA, M. E.; ZONTA, E. BALIEIRO, F.C. Isolation and selection of filamentous fungi from petroleum contaminated soil. Bioresearch bulletin. V. 3: 118-126, 2010.

FREIRE, F. J & FREIRE, M.B.G. S. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. p. 929-951 in: NOVAIS, R.F; ALVARES, V. H.; BARROS, N, F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTI R. B.; NEVES, J. C .L .. Fertilidade do solo. SBCS (Viçosa, MG) 2007.

FREITAS, F. C. de. Uso de resíduo orgânico da produção de biodiesel direta da semente na atenuação dos efeitos de hidrocarbonetos de petróleo no solo. 2009. 97p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ.

GOMES, N. C. M.; HEUER, H.; SCHONFELD, J.; COSTA, R.; MENDONÇA-HAGLER, L.; SMALLA, K. Bacterial diversity of the rhizosphere of maize (*Zea Mays*) grow in tropical soil studied by temperature gradient gel eletrophoresis. Plant and Soil, v. 232, 167-180, 2001.

HUANG, X.D.; ALAWI, Y.; GUSKA, J. GLICK, B. GREENBERG, B.M. A multi-process phytoremediation system for decontamination of persistent total petroleum hydrocarbons (TPH) from soils. Microchemical journal. 81 (2005) 139-147.

JACQUES, R. J. S.; BENTO, F.M.; ANTONIOLLI, Z.I.; CAMARGO, F.A.O. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. In: Ciência Rural. Santa Maria. Jul-Ago 2007. v. 37, n. 4, p. 1192-1201. 2007.

LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Paulo: Ed. RIMA,. 2000, 529 p. il.

LEAL, Isaac Gomes ; ACCIOLY, Adriana Maria de Aguiar ; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, M. B. G. S. ; MONTENEGRO, A. A. A. ; FERREIRA, Fabiana L . Fitorremediação de solo salino-sódico por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 1065-1072, 2008.

- LINS, F. A. F. & LUZ, A. B. Fluidos de perfuração. CETEM. Comunicação técnica, 2003. 26p.
- LIMA, H. Fundamentos de Perfuração. Formação de Engenheiros de Petróleo da Petrobras. Centro de Desenvolvimento de Recursos Humanos Norte-Nordeste, Salvador, 2001. 26p.
- LIMA NETO, J. A.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; JÚNIOR, V. S. S.; LIMA, J. F. W. F.; FERREIRA, R. F. A. L. Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos amarelos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do estado de Alagoas. R. Bras. Ci. Solo, 33:1001-1011, 2009.
- LOOMIS, R.S.; CONNOR, D.J. Productivity and management in agricultural systems. Crop Ecology. University Press, Cambridge, 1992. 538 p
- MAGALHÃES, M. O. L.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; ZONTA, E.; LIMA, L. S.; PAIVA, F. S. D. Mobilidade de Bário em Solo Tratado com Sulfato de Bário Sob Condição de Oxidação e Redução. Química Nova, v. 34, p. 1544-1549. 2011.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. Editora Agronômica Ceres . São Paulo, 1980. 251 p.
- MARKOVINA A.; PITT, J. I.; HOCKING, A. D.; CARTER, D. A.; MCGEE, P. A. Diversity of the Trichocomaceae in the Katandra Nature Reserve, Central Coast, NSW, Australia. Mycol. Res., v. 109, p. 964-973, 2005.
- MARQUES, M.; AGUIAR, C.R.C.; SILVA, J.J.L.S. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. R. Bras. Ci. Solo, 35:1-11, 2011.
- MELONI, D. A.; GULOTTA, M. R.; MARTÍNEZ, C. A.; OLIVA, M. A. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in Prosopis Alba. Braz. J. Plant Physiol., 16(1):39-46, 2004.
- MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. Matéria orgânica do solo: métodos de análises. Viçosa, UFV, 2005. 107p.
- MILLER, R. W.; HONARVAR, S. & HUNSAKER, B. Effects of drilling fluids on soils and plants: I individual fluid components. Journal of Environmental Quality. n.9, 547-552. 1980.
- MILLER, R. W. & PESARAN, P. Effects of drilling fluids on soils and plants: II complete drilling fluid mixtures. Journal of Environmental Quality. n.9, 552-556, 1980.
- MILLIOLI, V.S.; OLIVEIRA, F.R. Utilização da técnica de bioestímulo, avaliando-se parâmetros como relação nutricional e umidade na biorremediação de solo contaminado com óleo cru. CT2005-152-00 – Comunicação Técnica a XIII Jornada de Iniciação Científica do CETEM, 13-14 de julho de 2005, Rio de Janeiro, RJ. CD-ROM
- MOLINA-BARAHONA, L.; RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ, R.; HERNÁNDEZ-VELASCO, M.; VERGA-JARQUÍN, C.; ZAPATA-PÉREZ, O.; CANTÚ-MENDOZA, A.; ALBORES, A. Diesel removal from contaminated soils by biostimulation and supplementation with crop residues. Applied Soil Ecology, v.27: 165-175, 2004.
- MONTEIRO, J. H. R.. Aproveitamento do Lixo Urbano: Homem Natureza Namorando a Terra. Revista Agricultura Alternativa. Rio de Janeiro, 1995, 155p
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, Editora da UFLA, 2002. 626p.

- MUNNS, R. & TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2008. 59:651–81.
- OLIVEIRA, S. D.; LEMOS, J.L.S; BARROS, C.A.; LEITE, S.G. Emprego de fungos filamentosos na biorremediação de solos contaminados por petróleo: estado da arte. *Série Tecnologia Ambiental. CETEM*, 2008.
- PARIDA, A. K. & DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60 (2005) 324–349.
- QADIR, M.; QURESHI, R.H.; AHMAD, N. Horizontal flushing: a promising ameliorative technology for hard saline-sodic and sodic soils. *Soil & Tillage Research*, v.45, p.119-131, 1998.
- RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, US Department of Agriculture, 1954. 160p. (USDA Agricultural Handbook, 60).
- SAMSON, R. A.; HOEKSTRA, E. S.; FRISVAD, J. C.; FILTENBORG, O. 2000. Introduction to food and airborne fungi. 6th ed., CBS: Baarn, The Netherlands, p. 389.
- SANTOS, M. F. L.; FACHEL, J. M. G.; PULGATI, F. H. Efeitos do descarte de cascalho de perfuração revestido com fluido não aquoso (NAF) sobre as comunidades macrobênticas de águas profundas da Bacia de Campos-Brasil. III Congresso Braileiro de P& D em Petróleo e Gás. 2 a 5 de outubro de 2005, Salvador – Bahia. Anais do congresso, 1995.
- SCHORTEMEYER, M.; HARTWIG, U. A.; HENDREY, G. R.; SADOWSKY, M. J. Microbial community changes in therhizospheres of white clover and perennial ryegrass exposed to free air carbon dioxide enrichment (face). *Soil Biology and Biochemistry*, v.28, p.1717-1724, 1996.
- SEABRA, P. N. C. . Uso da Biorremediação em Áreas Impactadas pela Indústria de Petróleo. In: MELO, I.S.; SILVA, C.M.M.S.; SCRAMIN, S.; SPESSOTO, A. Biodegradação. Embrapa Meio Ambiente – Jaguariúna, SP, 2001. 41-59p.
- SILVA, E. N.; GOMES SILVEIRA, J. A.; RODRIGUES C. R. F.; LIMA, C. S.; & VIÉGAS, R. A. Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-mansão submetido à salinidade. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.44, n.5, p.437-445, maio 2009.
- SILVA, I. R. & MENDONÇA, E. S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds) *Fertilidade do Solo*, Viçosa, MG; SBCS, 2007. p. 276-374.
- SILVA, R. N.; LOPES, N. F.; DUARTE, G. L.; MORAES, D.M.; ALMEIDA, A.L. Análise de crescimento de plantas de *Hordeum vulgare* L. submetidas a estresse salino. *R. Bras. Agrociência*, Pelotas, v 13, n4, p 455-463, 2007.
- SILVA, C.M.M.S. O fenômeno da biodegradação acelerada de pesticidas. In: MELO, I. S., SILVA, C. M. M. S., SCRAMIN, S., SPESSOTO, A. (eds.) *Biodegradação*. Embrapa Meio ambiente – Jaguariúna, SP, 2001. 15-28p.
- SOUZA, P.J.B de. & LIMA, V. L. de. Avaliação das Técnicas de Disposição de Rejeitos da Perfuração Terrestre de Poços de Petróleo. Universidade Federal da Bahia Escola Politécnica Departamento de Hidráulica e Saneamento. Salvador, BA. 2002.
- STRANGE, K. Cellular volume homeostasis. *Advances in physiology education*, v.28, p.155-159, 2004.
- TAIZ, L.; ZEIGHER, E. *Plant physiology*. 3.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2004. 719p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. Boletim técnico n. 5, 2ª edição, Departamento de Solos, UFRGS, Porto Alegre, 174p. 1995.

USEPA - Environmental Protection Agency. SW-846 – Test methods for evaluating solid wastes – USEPA 8015B, non-halogenated organic using GC/FID; SW-846 – Test methods for evaluating solid wastes – USEPA 8270, Semivolatile organic compounds by gas chromatography/Mass spectroscopy. On-line. Acesso em outubro 2005.

VAQUEIRO, R. L. C. Avaliação do potencial de contaminação de aquíferos porosos a partir da perfuração de poços de petróleo utilizando fluido n-parafina. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em recursos minerais e hidrogeologia. Instituto de geociências. Universidade de São Paulo, 2006.

VIDOR, C., CAMARGO, F. A. O, KROB, J. D. A.; (1997). Avaliação da População Microbiana de Solos Submetidos à Aplicação Contínua de Lixo Urbano. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26. Anais... Rio de Janeiro: SBCS, 494p.

VOIGT, E. L. Transporte e Homeostase Sódio/Potássio sob Condições de Sodicidade em Feijão Caupi. Tese. Departamento de Bioquímica. Universidade Federal do Ceará. 2008.

ZHU, J.K. Plant Salt Tolerance. Trends in Plant Science, v. 6, n.2, p. 66-71, 2001.

ZHU, J.K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. Curr. Opin Plant Biol. 6. 441-445. 2003.