

IAG364-06-2013
**AVALIAÇÃO DO RESÍDUO CASCALHO DE PERFURAÇÃO DE POÇO
DE PETRÓLEO NA CONSTRUÇÃO DE PISTA EXPERIMENTAL DE
BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO**
**EVALUACIÓN DE LOS RECORTES DE POZOS DE PERFORACIÓN DE
PETROLEO EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISTA EXPERIMENTAL DEL
BAJO VOLUMEN DE VEHÍCULO**

Danielly Thiare Oliveira de Araújo
Universidade Federal de Sergipe/DEC
São Cristóvão/SE, Brasil
E-mail: daniellythiare@hotmail.com

Erinaldo Hilário Cavalcante
Universidade Federal de Sergipe/DEC
São Cristóvão/SE, Brasil
E-mail: erinaldo@ufs.br

Gisélia Cardoso
Universidade Federal de Sergipe/DEQ
São Cristóvão/SE, Brasil
E-mail: giselia@ufs.br

Resumen

Este trabajo presenta los resultados de un estudio sobre el uso del un residuo aceitoso extraído del proceso de perforación de pozos de petróleo, con el fin de construir una carretera experimental de bajo volumen de tránsito. Muestra las fases de la investigación de laboratorio y la construcción de los tres segmentos de la carretera, que se utilizó en dos de lo residuo industrial llamado recorte de perforación. Este residuo se genera en una escala relativamente grande y no es una técnica para su uso en la pavimentación, que por esta razón se ha propuesto por los autores de este estudio su uso en capas de pavimento. Con esto, se construyeron dos tramos seguidos en un camino de acceso a uno de los pozos de petróleo, situados cerca de una unidad operativa propia de la petrolera brasileña. El residuo se mezcló con el suelo a razón de 20% de residuos, y 80% del suelo, en peso. La mezcla se utiliza como recubrimiento primario. En un de los segmentos de la carretera se utilizó un pequeño porcentaje de cemento Portland (3% en peso), con la intención de obtener una mejor mezcla del residuo con el suelo. Los resultados obtenidos de pruebas de laboratorio y de campo (en la carretera experimental) indican un posible uso de recortes de perforación en la capa de base o sub-base del pavimento en el camino de bajo volumen de tránsito, como una capa de recubrimiento primario, sin comprometer la resistencia.

Resumo

Este trabalho apresenta resultados de um estudo acerca do uso de um resíduo oleoso extraído do processo de perfuração de poços de petróleo, com vistas à construção de uma pista experimental de baixo volume de tráfego. São apresentadas as fases da pesquisa laboratorial e da construção de três segmentos de pista, onde em dois deles foi utilizado o resíduo industrial denominado cascalho de perfuração. Esse resíduo é gerado numa escala relativamente grande e ainda não existe uma técnica de aproveitamento em pavimentação, o que por essa razão, foi proposta pelos autores deste trabalho sua utilização em camadas de pavimentos. Com isso, foram construídos dois trechos monitorados em uma estrada de acesso a um dos poços de petróleo, localizado nas proximidades de uma Unidade Operacional de petróleo brasileira. O resíduo cascalho de perfuração foi misturado com solo na proporção 20% de resíduo e 80% de solo, em massa, sendo a mistura utilizada como revestimento primário. Em um dos trechos construídos utilizou-se uma pequena porcentagem de Cimento Portland (3% em massa), na intenção de obter um solo-resíduo melhorado com cimento. Os resultados obtidos a partir dos ensaios de laboratório indicam a possibilidade do aproveitamento do cascalho de perfuração em camada de base ou sub-base de pavimento de via de baixo volume de tráfego, como revestimento primário, sem comprometer a resistência.

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento de resíduos, especialmente os resíduos industriais, tem sido estimulado cada vez mais devido ao elevado consumo e, ao mesmo tempo, a escassez dos recursos naturais. Quando se trata de resíduos sólidos, a vinculação da tecnologia com as viabilidades técnica e econômica, bem como a adequação aos parâmetros ambientais, o reaproveitamento, a aplicação ou a destinação final do resíduo tornam-se ações desafiadoras para os pesquisadores.

O advento da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) remonta ao ano de 1992 (CNUMAD, 1992), quando a ONU (Organização das Nações Unidas) permitiu que o Brasil se posicionasse no centro das atenções mundiais para o estabelecimento das diretrizes relacionadas ao conceito de desenvolvimento sustentável. Naquele ano, a cidade do Rio de Janeiro sediou a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), a Rio 92. Do evento, participaram representantes de 172 países, incluindo 108 chefes de Estado, onde foram discutidos novos modelos de desenvolvimento baseados na interação entre as dimensões social, ambiental e econômica. Os resultados da Rio 92 se materializaram em forma de acordos, dos quais a Agenda 21 foi um dos documentos mais importantes, dividido em 40 capítulos, distribuídos em seções como: Dimensões Sociais e Econômicas, Conservação e Gerenciamento de Recursos para o Desenvolvimento, Fortalecimento do Papel dos Maiores Grupos e Meios de Implantação. Com base nessa conferência mundial, o Brasil estabelece um marco legal para instituir sua PNRS no ano de 1998, com a Lei nº 9.605, alterada e consolidada pela Lei nº 12.305 de 2010.

As várias fases operacionais da indústria do petróleo, tais como perfuração, produção, transporte, refino e distribuição, geram quantidades significativas de resíduos sólidos, alguns deles considerados perigosos, cuja disposição no meio ambiente pode acarretar sérios problemas ambientais (MARIANO, 2005). Dentre os resíduos gerados, estão os fragmentos de rocha

gerados durante a perfuração, que são comumente denominados cascalho, e são removidos continuamente através de fluidos ou lama de perfuração (SOUZA, 2001; citado por PEREIRA, 2010).

Os elevados custos de tratamento e/ou descarte desse resíduo resultam, quase sempre, na deposição de grandes volumes desses rejeitos em lagoas ou diques (centrais de armazenamento), que podem deflagrar passivos ambientais irreversíveis. Diante disto, há necessidade da adoção de nova postura pelo setor industrial em relação ao gerenciamento e aproveitamento desse resíduo, sendo uma dessas o aproveitamento do material na cadeia produtiva da pavimentação.

Cordeiro (2007) salienta que há pouca experiência brasileira acerca de estudos envolvendo resíduos petrolíferos com a finalidade de aplicações na Engenharia Civil. Convém ressaltar que o aproveitamento de rejeitos industriais deve ser encarado como uma prática preservacionista e ao mesmo tempo restauradora, de elevado impacto ambiental, econômico e ecológico.

Apesar de toda a preocupação ambiental existente no campo da indústria petrolífera, esta ainda não implantou efetivamente soluções técnicas e economicamente viáveis para o reaproveitamento dos seus resíduos, mesmo sabendo-se que as companhias de petróleo estão cada vez mais empenhadas em atingir e demonstrar resultados ambientais satisfatórios, que atendam aos requisitos legais, da própria empresa e também dos órgãos ambientais. Entretanto, o atendimento aos requisitos das normas de sistemas de gestão ambiental, não garante, por si só, resultados ambientais ótimos. Para tanto, a organização deve considerar a colocação em prática da melhor tecnologia disponível sempre que apropriado e economicamente viável (MARTINS et al., 2008). A filosofia dos 3Rs: redução, reutilização e/ou reciclagem de tais resíduos se constitui em ferramenta de grande importância na definição de políticas de gestão sustentável das empresas petrolíferas (LADISLAO, 2008).

Neste contexto, as pesquisas científicas tem muito a contribuir com o propósito de fornecer elementos para que o crescimento industrial aconteça de forma sustentável, com equilíbrio ambiental. Apenas para citar um exemplo, Onofre et al. (2009) utilizaram a metodologia de dosagem Superpave para desenvolver uma mistura asfáltica contendo o resíduo Solo Contaminado por Petróleo (SCP), de onde se concluiu que o comportamento mecânico das misturas foi alterado com a presença do resíduo, verificando que para maiores teores de SCP, foram obtidos menores valores de Módulo de Resiliência, resistência à tração e vida de fadiga. Entretanto, aqueles autores consideraram os resultados satisfatórios, visto que o método possibilita uma destinação mais nobre para o solo contaminado com petróleo do ponto de vista ambiental e econômico. Entretanto, se pode considerar que os resultados foram satisfatórios, visto que o método possibilita uma destinação mais nobre para o SCP do ponto de vista ambiental e econômico.

Considerando o interesse mundial em se preservar os recursos naturais e a manutenção do equilíbrio ecológico, promovendo-se o desenvolvimento econômico, industrial e tecnológico com sustentabilidade ambiental, as pesquisas envolvendo esta temática ganham destaque. Neste contexto, o presente trabalho busca uma alternativa para o devido aproveitamento de um resíduo sólido da indústria petrolífera, especificamente o cascalho de perfuração, gerado na etapa produtiva de extração do petróleo. A produção desse resíduo pode se tornar um gargalo para a sociedade, visto que os cascalhos gerados na etapa de perfuração de poços de petróleo são

produzidos em larga escala e exigem ambiente adequado para a deposição temporária, bem como custos relativamente elevados para a sua destinação final.

A contribuição para o aproveitamento do cascalho de perfuração como material alternativo em pavimentação rodoviária se baseia no estudo desse material incorporado a solos tropicais tipicamente encontrados em jazidas com potencial de exploração da região Nordeste do Brasil, especialmente nas proximidades dos acessos de bases de perfuração de poços para extração de petróleo. Desta forma, objetiva-se com esta pesquisa a viabilidade técnica do uso do cascalho de perfuração em camadas de pavimentos asfálticos de baixo volume de tráfego, inicialmente a partir de ensaios de laboratório, e em seguida, o monitoramento de campo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

2.1.1 Solo

Para a realização dos ensaios de laboratório foram coletadas amostras de solos de uma jazida denominada São Sebastião, em São Sebastião do Passé-BA, localizada nas proximidades da Unidade Operacional da Petrobrás, em Taquipe. Embora não se possa perceber na Figura 1, o solo da referida jazida apresenta cor avermelhada e faz parte dos solos residuais maduros de textura areno-argilosa, da formação Barreiras.

Figura 1: Aspectos de macrotextura do solo coletado na jazida São Sebastião



2.1.2 Resíduo Cascalho de Perfuração

Foram coletadas amostras de cascalhos de perfuração na Unidade Operacional da Petrobrás na Bahia, denominada Taquipe. Trata-se de um material granular oriundo de rocha desintegrada, com aparência de areia siltosa fina, com presença de óleo, baixa umidade e resquícios do fluido de perfuração, a base parafina. Vale ressaltar que do ponto de vista geotécnico, esse material não poderia ser considerado cascalho, mas é essa a denominação atribuída pelas empresas geradoras.

Figura 2: Aspectos texturais do cascalho de perfuração



2.1.3 Cimento Portland

Visando aumentar a cimentação da mistura solo-resíduo, foi usado o cimento Portland CII E32, de fabricação nacional, produzido em uma fábrica na região de Sergipe. Esse aglomerante possui em sua composição a adição de escória siderúrgica, que substitui uma parte do clínquer (mineral artificial). Cabe frisar que o cascalho de perfuração também é empregado na indústria cimenteira na forma de clínquer.

2.2 Métodos

Para se atingir os objetivos desta pesquisa, foram realizados os ensaios geotécnicos de caracterização, tais como granulometria, limites de Atterberg, umidade, massa específica e compactação com os solos puros e as misturas. Além desses ensaios, foram realizados ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC) e expansão, densidade e umidade *in situ* e módulo de resiliência (MR). Os ensaios foram realizados de acordo com procedimentos normativos da ABNT, DNER e ASTM.

Na continuidade desta pesquisa também se efetuará a análise do pavimento executado com a aplicação cascalho de perfuração. O trecho experimental está situado na estrada de acesso à base do Poço 4-GNB-3, pertencente ao Campo de Produção Guanambi, situado no município São Sebastião do Passé, Bahia. Para fins comparativos, o trecho experimental foi dividido em três segmentos, cujos materiais estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Descrição dos materiais usados nesta pesquisa para comparação de desempenho

Trecho	Descrição	Extensão (m)
1	Solo puro (SP) da jazida São Sebastião	120
2	Solo puro (SP) jazida São Sebastião + 20% cascalho de perfuração (CP)	120
3	Solo puro (SP) jazida São Sebastião + 20% cascalho de perfuração (CP);+ 3% cimento CII E32	120

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização do solo

3.1.1 Granulometria

Foram coletadas duas amostras na jazida São Sebastião e coletadas amostras desse material no trecho já executado, para avaliar possíveis alterações entre o material da jazida e o material do pavimento executado. A Tabela 2 apresenta a granulometria do solo coletado na Jazida São Sebastião. Por meio de análise da distribuição dos grãos, verifica-se a semelhança das amostras coletadas nessa jazida, com ausência de pedregulhos e predominando a fração de areia, com aproximadamente 80% desta fração no solo.

Tabela 2: Granulometria das amostras de solo da jazida São Sebastião

GRANULOMETRIA (FRAÇÃO)	Silte	Argila	Areia	Pedregulho
	%	%	%	%
Amostra 1	7,00	19,00	74,00	0,00
Amostra 2	7,50	15,00	78,00	0,00
Média	7,25	17,00	76,00	0,00

3.1.2 Limites de Atteberg e Massa Específica real

A Tabela 3 apresenta os valores dos limites de liquidez e de plasticidade, índice de grupo e massa específica real dos solos, resultantes de dois ensaios realizados para cada parâmetro; na quarta coluna são apresentados os valores médios obtidos dos dois ensaios com as duas amostras. Nota-se que os parâmetros dos ensaios de limite de Atterberg são semelhantes e que o material não é líquido (NL) e não é plástico (NP). Com base nestes ensaios e conforme granulometria apresentada anteriormente, este solo é classificado como Areia argilosa e A-2-4 de acordo com a classificação HRB.

Tabela 3: Limites de Atterberg, índice de grupo e massa específica real do solo

Parâmetro	Ensaio 01	Ensaio 02	Média
WL (%)	NL	NL	NL
WP (%)	NP	NP	NP
IP (%)	NP	NP	NP
IG	0	0	0
γ_g (g/cm ³)	2,653	2,653	2,653

3.1.3 Compactação, Índice de Suporte Califórnia (CBR) e expansão

Foram realizados 02 (dois) ensaios de compactação com as amostras coletadas na jazida São Sebastião, utilizando a energia do Proctor Intermediário, sob cuja energia também foram moldadas as amostras para a realização dos ensaios de CBR e expansão. Os valores dos pesos específicos aparentes secos máximos, os teores de umidade ótima, os valores de CBR e respectiva expansão estão apresentados na Tabela 3. Observa-se que o peso específico aparente seco máximo do solo é da ordem de 20 kN/m³, com teor de umidade ótima média igual a 9,5%. O valor do CBR aproxima-se de 54%, com expansão de 0,01%, valor considerado baixo, indicando que o solo dessa jazida pode ser usado em camadas de sub-base de pavimentos. Contudo, como se objetiva aproveitar o resíduo cascalho de perfuração no local, é importante verificar o comportamento do solo com a adição do resíduo.

Tabela 4: Resultados ensaios de compactação, CBR e expansão

Ensaio	$\gamma_{dm\acute{a}x}$	$w_{\acute{o}t}$	CBR	Expansão
	(kN/m^3)	(%)	(%)	(%)
01	20,00	9,4	54,0	0,01
02	19,84	9,6	53,0	0,00
Média	19,92	9,5	53,5	0,01

3.2 Caracterização do Resíduo Cascalho de Perfuração

3.2.1 Granulometria

A partir de análise da composição de distribuição dos grãos, observa que o silte é a fração predominante no cascalho de perfuração, com aproximadamente 58%, e posteriormente a argila, cuja fração é quase 33%; presume-se que este material seja classificado como areia-argilosa.

Tabela 5: Granulometria do resíduo cascalho de perfuração

Granulometria (Fração)	Silte	Argila	Areia	Pedregulho
	%	%	%	%
Cascalho de Perfuração	57,64	32,91	7,86	1,61

3.2.3 Compactação, Índice de Suporte Califórnia (CBR) e expansão

Por meio das composições granulométricas e por parâmetros dos ensaios de limites de Atterberg, o cascalho de perfuração pode ser classificado de acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos como argila de baixa compressibilidade (CL) e, A-7-5 de acordo com o sistema HBR.

Tabela 6: Granulometria do resíduo cascalho de perfuração

Fração	Cascalho
	(%)
Pedregulho	1,61
Areia	7,86
Argila	32,91
Silte	57,64

3.3 Caracterização do solo com a adição do cascalho de perfuração

Foram realizados ensaios de granulometria, CBR e expansão, cujos resultados estão apresentados na Tabela 7. Visando-se analisar a influência do cascalho de perfuração no solo, foram procedidas duas combinações de materiais, além dos ensaios com o solo puro:

- Combinação 01: 80% de solo + 20% de cascalho de perfuração;
- Combinação 02: 80% de solo + 20% de cascalho de perfuração + 3% de cimento.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 7, tendo-se como referencial o solo puro, nota-se que a presença do resíduo cascalho nas duas combinações fez diminuir a fração de areia e causou um aumento na fração de silte. A presença do cimento (combinação 02) elevou aproximadamente 11% à fração argila. Na Tabela 8 são apresentados os resultados dos ensaios de Limites de Atterberg, de onde se constata nenhuma alteração em comparação ao solo puro. Comparando-se os dados das combinações de solo-cascalho de perfuração com os do solo puro, o material permanece com a mesma classificação HRB, classificando-se em solo tipo A-2-4.

Tabela 7: Granulometria do solo com a adição do resíduo cascalho de perfuração

Fração	Solo Puro	Combinação 01	Combinação 02
	(%)	(%)	(%)
Pedregulho	0,0	1,5	1,0
Areia	76,0	68,9	67,0
Argila	17,0	16,2	19,0
Silte	7,0	13,4	14,0

Tabela 8: Limites de Atterberg, índice de grupo e massa específica real do solo-resíduo

Parâmetro	Solo puro	Combinação 01	Combinação 02
WL (%)	NL	NL	NL
WP (%)	NP	NP	NP
IP (%)	NP	NP	NP
IG	0	0	0
γ_g (g/cm ³)	2,653	2,667	2,676

Foram realizados 02 (dois) ensaios de compactação para cada combinação de material (solo-resíduo), utilizando o procedimento Proctor Intermediário, onde foram moldadas amostras para a realização dos ensaios de CBR e expansão. A Tabela 9 apresenta um resumo contendo os valores dos pesos aparentes específicos secos máximos, teores de umidade ótima, valores de CBR e respectiva expansão obtidos para os materiais empregados nesta pesquisa. Da tabela é possível notar que os valores dos pesos específicos aparentes secos máximos de todas as misturas de solo-cascalho e solo-cascalho-cimento praticamente não sofreram variações em relação ao do solo puro. Nota-se também que as combinações de solo-cascalho apresentaram aproximadamente os mesmos valores de umidade ótima obtida para o solo puro.

Com relação aos valores de CBR, os resultados indicaram aumento na magnitude para a combinação 02 (solo-cascalho-cimento) e expressiva diminuição nos valores obtidos para a combinação 01 (solo-cascalho). A Tabela 9 (quinta coluna) mostra ainda que os valores de expansão não se alteraram significativamente com a presença do resíduo. Entretanto, o aumento do CBR da combinação 02 surpreendentemente é acompanhado de significativo aumento da expansão, mas ficando no limite de uso como camada de base.

Tabela 9: Parâmetros de compactação e CBR do solo-resíduo

Material	$\gamma_{dm\acute{a}x}$	$w_{\acute{o}t}$	CBR	Expansão
	(kN/m^3)	(%)	(%)	(%)
Combinação 01	20,40	9,50	21,0	0,00
Combinação 02	20,44	9,35	61,0	0,05
Solo Puro	19,92	9,50	53,5	0,01

4 CONCLUSÕES

O solo utilizado nesta pesquisa, oriundo da jazida São Sebastião, Bahia, não apresenta plasticidade (não-líquido e não-plástico), possui granulometria predominantemente arenosa, sendo classificado de acordo com o sistema HBR como areia argilosa (A-2-4). Os ensaios de compactação realizados com o solo sob a energia do Proctor Intermediário revelaram valores de pesos específicos aparentes secos máximos em torno de 20 kN/m^3 , com teor de umidade ótima média igual a 9,5%, valor não muito diferentes dos obtidos quando foram incluídos o cascalho de perfuração (20% em massa) e o cimento (3% em massa) na matriz do solo. Esta constatação indica que o cascalho de perfuração não altera de forma significativa os parâmetros de compactação da matriz do solo, do que se permite concluir inicialmente condições favoráveis de uso desse resíduo na pavimentação.

Os valores de CBR obtidos revelaram uma queda bastante acentuada quando se incluiu o resíduo cascalho de perfuração na matriz do solo, ocasionando, por outro lado, aumento na expansão, ainda que os parâmetros de compactação não tenham se alterado de forma expressiva. Contudo, quando se incluiu 3% de cimento na mistura (combinação 02), o material teve sua rigidez elevada, ultrapassando, inclusive, o valor obtido dos ensaios com o solo puro. A expansão observada após quatro dias de imersão alcançou o limite máximo especificado para uso do material como camada de base de pavimento, ou seja, igual a 0,5%. Esta conclusão indica a necessidade da inclusão do cimento Portland na mistura para melhorar o comportamento mecânico da combinação solo-cascalho de perfuração.

Para o complemento desta pesquisa estão sendo realizados ensaios de Módulo de Resiliência para uma avaliação mais racional dos parâmetros de projeto e a comparação com resultados de retroanálises feitas com dados dos ensaios de FWD realizados no trecho. Resultados de ensaios ambientais (lixiviação e solubilização) realizados com os fluidos percolados pelas amostras das misturas e coletados no local de execução do trecho experimental estão sendo analisados para e balizar as conclusões referentes aos parâmetros mecânicos apresentados neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À PETROBRÁS pelo suporte financeiro à pesquisa. Ao CNPq pela bolsa de ITI-1A concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONUMAD. Conferência das Nações Unidas Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio de Janeiro. Agenda 21. Brasília: Senado Federal. Subsecretaria de Edições Técnicas. 1992.

Cordeiro, J. F. S. Estabilização química e solidificação do resíduo oleoso gerado nas atividades de E & P de petróleo, como solo para uso em camadas de base e/ou sub-bases de pavimentos rodoviários. Dissertação de mestrado. PPGECA/UFCG, 2007.

Ladislao, B. A. 2008. Environmental levels, toxicity and human exposure to tributyltin (TBT)-contaminated marine environment. A review Environment International, 34: 292-308.

Mariano, J. B. Impactos Ambientais do Refino de Petróleo. 1 ed., Rio de Janeiro: Interciência. 2005.

Martins, A. A. B., Rabelo, S. K. L. e Freire, M. G. M. Estudo de caso aplicado ao gerenciamento de resíduos sólidos em instalações marítimas de produção de petróleo da Bacia de Campos. Perspectivas Online, vol 5. Nº 2, pp. 117-134, 2008.

Onofre, F. C., Lopes, M. M., Castelo Branco, V. T. F. E Soares, J. B. Aplicação de Solo Contaminado por Petróleo em Misturas Asfálticas. XVI Reunião de Pavimentação Urbana, Belo Horizonte/MG, 2009.

Pereira, S. M. "Caracterização de cascalho e lama de perfuração ao longo do processo de controle de sólidos em sondas de petróleo e gás" Dissertação, UFU-MG, 2010.

Brasil. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei nº Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Brasília – DF. 1998. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acessado em 31/07/2013.

Brasil. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei nº Lei nº. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Brasília – DF. 2010. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acessado em 31/07/2013.