

# Avaliação do Uso de Resíduos da Produção de Petróleo como Materiais Alternativos para Pavimento

Bárbara Viapiana de Carvalho

Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil, baviapiana@gmail.com

Juliana Gabrielle Florêncio Gomes Cardoso

Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil, nana\_brielle@hotmail.com

Erinaldo Hilário Cavalcante

Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil, erinaldo@ufs.br

**RESUMO:** No processo de perfuração de poços para extração do petróleo, a desagregação das rochas pela perfuratriz gera quantidades significativas de um material granular (de 500 a 800 m<sup>3</sup>), denominado cascalho de perfuração. Em geral, o material é armazenado para aguardar uma destinação adequada. Deste modo, foi proposto seu uso como material alternativo para construção de base e/ou sub-base de pavimentos em vias de baixo volume de tráfego. Para analisar o desempenho do material, nesta pesquisa estão sendo preparadas misturas solo-cascalho e solo-cascalho com porcentagens de cal. Realizou-se a avaliação dos materiais separadamente e das misturas solo-resíduo quanto às suas propriedades geotécnicas através dos ensaios de Granulometria, Limites de Atterberg (Limite de Liquidez – LL; Limite de Plasticidade – LP; Índice de Plasticidade – IP), Compactação, Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Módulo de Resiliência (MR). De acordo com os resultados dos ensaios geotécnicos obtidos, percebeu-se que a inclusão do cascalho de perfuração contribuiu para diminuir a resistência do solo. Entretanto, com a adição da cal, as misturas recuperaram parte da resistência, mas, ainda assim, nenhuma das porcentagens aplicadas foi suficiente para superar a capacidade do solo puro. Concluiu-se que uma das misturas solo-cascalho-cal se apresentou satisfatoriamente para o uso como material de sub-base, o que pode indicar a viabilidade de uso desse resíduo como um material alternativo para utilização na construção de estradas, reduzindo custos e criando uma destinação adequada, o que diminuiria sua capacidade de agressão ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos, Cascalho de Perfuração, Materiais Alternativos para Pavimentos.

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho está motivado pela necessidade de um gerenciamento dos resíduos oriundos da indústria petrolífera, em especial o cascalho de perfuração, que é gerado em quantidade cada vez maior devido ao constante crescimento da mesma indústria. Complementarmente, busca-se contribuir na preservação do meio ambiente através de uma solução tecnicamente e economicamente viável para o reaproveitamento do resíduo, ao invés do simples descarte.

### 1.1 Resíduos Sólidos

A Norma NBR 10004 (2004) define resíduos sólidos como sendo todos os *resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou*

*exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.*

Ainda segundo a NBR 10004, a classificação dos resíduos pode ser feita de duas formas: i) quanto à origem, se domiciliar, urbano, industrial, de serviços da saúde, da construção civil, etc; ii) quanto à periculosidade, se perigosos, quando apresentam significativo risco à saúde pública ou a qualidade ambiental, ou não perigosos.

## 1.2 Cascalho de Perfuração

Na abertura de poços para extração de petróleo, durante a etapa de perfuração, a broca provoca desagregação das rochas, que origina um grande volume de um material, o cascalho de perfuração. Este material é semelhante a uma areia siltosa que possui incorporados óleo e resíduos do fluido perfurante, a exemplo da parafina. Esses fragmentos são conduzidos à superfície de forma contínua através do fluido ou lama de perfuração (Cavalcante, Motta, Ubaldo, 2011).

A composição química do cascalho varia de acordo com o tipo de rocha que está sendo fragmentada e com o tipo de fluido utilizado na sua remoção.

As propriedades físicas são muito variáveis, dependendo, basicamente, da geologia do local da perfuração. Observa-se ainda que para um mesmo poço, o cascalho produzido pode apresentar diferentes características, não só por passar por diferentes extratos de solo, mas também pelos diferentes tipos de fluidos usados durante a escavação. Não há nenhum procedimento para separar os diferentes tipos de cascalhos formados quanto à toxicidade nem quanto à sua composição mineralógica (Moreira, 2009).

Bem como outros resíduos da indústria petrolífera, o cascalho se tornou objeto de estudos que procuram e avaliam formas alternativas para sua utilização, evitando assim o simples descarte do material. Nesta pesquisa, a proposta alternativa de aproveitamento do cascalho é usá-lo na construção de base ou sub-base para rodovias de baixo volume de tráfego,

primeiramente, pela extensão de uma obra de pavimentação e pelo grande volume de solo que é mobilizado. Além disso, já que é um material sem destinação, seu direcionamento para a pavimentação substituindo parte desse volume de solo e também, de certa forma, ajudando no melhoramento do desempenho, é uma solução de baixo custo para estabilização de pavimentos.

## 1.3 Solo-Cal

Solo-Cal é a denominação dada a proporções de solo quando há adição de cal e água, que pode ser utilizado na construção de pavimentos em camadas que não sejam de revestimento, com duas finalidades básicas: a primeira é melhorar determinadas características do solo como, por exemplo, a expansibilidade; e a segunda, por ser um método de estabilização para pavimentação, é promover a estabilidade, assim, depois de compactada e curada, a camada suportará, sem deformações excessivas, as cargas geradas pelo trânsito (Azevêdo, 2010).

Existem algumas reações que podem ocorrer caso o solo misturado com a cal possua minerais argilosos em sua composição. Dentre elas, podem ser citadas: Troca de Íons e Flocculação, proporciona acréscimo da resistência e diminuição da plasticidade do solo; Cimentação Pozolânica, proporciona aumento da capacidade de suporte do solo e da resistência contra a ação da água; e Carbonatação, por prejudicar a reação pozolânica, forma compostos muito menos resistentes (Azevêdo, 2010).

## 1.4 Pavimento

De acordo com o Manual do DNIT (2006), tem-se como pavimento, a superestrutura formada por camadas de diferentes materiais, cada um com sua respectiva resistência e deformabilidade, apoiada sobre a infraestrutura ou terreno de fundação, chamada subleito. Além do subleito, há também outras camadas como a base a sub-base. A base é a camada destinada a resistir aos esforços do tráfego e distribuí-los ao

subleito. E a sub-base é, geralmente, usada para regularizar a espessura da base, principalmente quando não é aconselhável executar a base diretamente sobre o leito.

Com o solo e o cascalho de perfuração estabilizados, espera-se que o pavimento resista aos esforços do tráfego, mesmo que de baixo volume, e também às ações erosivas dos agentes naturais. Afinal esse processo de inertização deve aumentar a resistência, reduzir o IP com melhoria na trabalhabilidade, reduzir a expansão e aumentar a durabilidade. Para que a mistura produzida possa ser adequadamente aplicada como base e/ou sub-base de pavimentos é necessário verificar se os valores para LL, IP, ISC e expansão estão dentro dos parâmetros apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Parâmetros para uso de materiais como Base e Sub-base**

PARÂMETROS	BASE	SUB-BASE
LL	≤ 25%	---
IP	≤ 6%	---
ISC	≥ 80%	≥ 20%
EXPANSÃO	≤ 0,5%	≤ 1%

Nesta pesquisa, os teores de cal aplicados às misturas de solo e cascalho de perfuração foram de 6%, 8% e 10%.

## 2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.1 Cascalho de Perfuração

O cascalho de perfuração utilizado nos ensaios desta pesquisa é proveniente de poços da UO-SEAL, instalada no município de Carmópolis, em Sergipe.

Os resultados das médias da granulometria determinaram 6% de pedregulho, 23% de areia, 53% de silte e 18% de argila.

Para os ensaios de Atterberg, os valores encontrados foram de 35% para LL, 29% para LP e 6% para IP.

A partir dos resultados da granulometria, verifica-se que o cascalho de perfuração tem dimensão de boa parte de seus grãos (>50%) equivalente à fração silte.

Pelo sistema de classificação do T.R.B. (Transportation Research Board), o cascalho tem características granulométricas que se comparam a um solo de classe A-4, silto-argiloso.

Apesar de essa classificação determinar que o resíduo apresenta características de silte, não há como garantir que ele se comportará da mesma maneira que um material silteoso. Isso se dá, primeiramente, pelo fato do sistema T.R.B. levar em consideração apenas os critérios físicos e, também, pelo material não se tratar de solo e, sim, de resíduo sólido. A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de compactação realizados com o resíduo.

**Tabela 2 - Resultado dos ensaios de Compactação, ISC e Expansão para o Cascalho de Perfuração**

CASCALHO DE PERFURAÇÃO		MÉDIA
DENS. MÁXIMA	kN/m <sup>3</sup>	11,30
UM. ÓTIMA	%	18,11
ISC	%	22
EXPANSÃO	%	0,03

### 2.2 Solo Puro

O solo utilizado para o desenvolvimento da pesquisa foi coletado na Jazida Alegrete, município de São Cristóvão, Sergipe. Foram usados cerca de 200 kg para todos os ensaios, desde os realizados apenas com o solo quer com as misturas. Depois de destorroado, o solo foi repartido para obtenção das massas necessárias para a realização de cada um dos ensaios.

Os resultados das médias da granulometria determinaram 47% de pedregulho, 34% de areia, 6% de silte e 13% de argila.

O solo apresenta grande quantidade de pedregulhos, nos dois ensaios as porcentagens foram maiores que 50%. Através do sistema de classificação do T.R.B., o solo é de classe A-2-4, pedregulhoso e areias silto-argilosas.

De acordo com os parâmetros para o uso como base ou sub-base, este solo não se qualifica para uso como base, pois apresentam LL maiores que 25%, no entanto, está dentro dos padrões do uso para sub-base, já que possui

ISC maior que 20% e expansão menor que 1% (Tabela 3).

Para os Limites de Atterberg, obtiveram-se 30% para o LL, 20% para o LP e 10% para o IP.

**Tabela 3 - Resultados dos ensaios de Compactação, ISC e Expansão para o Solo Puro**

SOLO PURO		MÉDIA
DENS. MÁXIMA	kN/m <sup>3</sup>	20,64
UM. ÓTIMA	%	10,40
ISC	%	66
EXPANSÃO	%	0,01

O ensaio de Módulo de Resiliência (MR) foi realizado através de dois modelos, o primeiro relaciona a tensão confinante com o MR, ideal para solos arenosos e pedregulhosos e o outro, o Modelo Composto, que relaciona tanto a tensão confinante quanto a tensão de desvio ao MR.

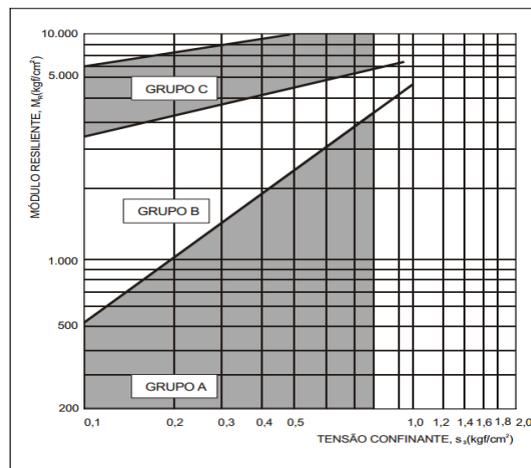
Para que os MR fossem obtidos, foi necessário determinar as tensões de desvio e confinante, através do programa ELSYM 5 (Departamento de Transportes da Federal Highway Administration - Estados Unidos/1986). Os valores médios das tensões obtidos foram 0,05 MPa e 0,36 Mpa, respectivamente.

Na Tabela 4 estão representados os MR de acordo com o modelo usado.

**Tabela 4 – Resultados dos Módulos de Resiliência para o Solo Puro**

Modelo Composto					
Tensões (MPa)		Parâmetros			MR (MPa)
$\sigma_3$	$\Sigma d$	k1	k2	k3	
0,05	0,36	532,1	0,44	-0,21	172,51
Modelo da Pressão Confinante					
0,05	---	472,63	0,24	---	228,46

Sendo que o solo é granular (% passa #200  $\leq$  35%), a classificação deste material para pavimentação é feita através da figura a seguir.



**Figura 1 – Classificação resiliente de solos granulares**

Assim, para a tensão confinante de 0,048MPa e MR de 228,46MPa, tem-se o solo como Grupo B, ou seja, possui grau de resiliência intermediário, podendo ser empregado tanto como base, quanto sub-base.

### 2.3 Mistura Solo e Cascalho de Perfuração

Nesta etapa da pesquisa, misturou-se o solo da Jazida Alegrete e o Cascalho de perfuração nas proporções de 4:1. Ou seja, 80% de solo e 20% do resíduo.

Os resultados das médias da granulometria determinaram 43% de pedregulho, 31% de areia, 14% de silte e 12% de argila, valores estes bem próximos dos do Solo Puro, em que a única alteração significativa se dá no valor de silte, que aumentou consideravelmente devido à alta taxa do mesmo na composição do Cascalho.

Os ensaios de Atterberg, para o Cascalho de Perfuração, resultaram numa média para as três amostras, de 33% para LL, 18% para LP. e 15% para IP.

Em uma sucinta comparação entre o solo puro e o solo-cascalho, observa-se que a mistura possui um desempenho mecânico pior que o solo puro, pois sua capacidade de suporte foi reduzida de 63 para 9 %, de acordo com a Tabela 5.

**Tabela 5 - Resultado dos ensaios de Compactação, ISC e Expansão para a mistura SOLO-CASCALHO**

SOLO-CASCALHO		MÉDIA
DENS. MÁXIMA	kN/m <sup>3</sup>	20,47
UM. ÓTIMA	%	10
ISC	%	9
EXPANSÃO	%	0,05

A determinação do Módulo de Resiliência se deu da mesma maneira que com o solo puro, em que os resultados obtidos estão representados nas Tabela 6:

**Tabela 6 - Resultados dos Módulos de Resiliência para a Mistura Solo e Cascalho de Perfuração**

Modelo Composto					
Tensões (MPa)		Parâmetros			MR (MPa)
$\sigma_3$	$\Sigma d$	k1	k2	k3	
0,05	0,36	250,7	0,33	-0,08	99,79
Modelo da Pressão Confinante					
0,05	---	212,34	0,27	---	92,38

Utilizando os dois valores de MR encontrados, a mistura de solo com cascalho pode ser classificada, através da figura 1 (por permanecer com % passa #200  $\leq$  35%), como Grupo A, isto é, possui um grau de resiliência elevado não devendo, assim, ser empregado como estrutura de pavimentos.

## 2.4 Mistura Solo, Cascalho de Perfuração e Cal

Nesta fase, foi adicionada cal em três proporções diferentes, 6%, 8% e 10% à mistura de solo-cascalho (Tabela 7).

**Tabela 7 - Resultados dos ensaios de Granulometria para as diferentes misturas**

	PEDREGULHO	AREIA	SILTE	ARGILA
*6%	35,99%	33,82%	20,22%	9,98%
*8%	35,18%	31,17%	30,76%	2,90%
*10%	35,25%	32,04%	24,21%	8,04%

\*Porcentagens de Cal adicionadas à mistura.

Pela análise dos resultados apresentados na Tabela 7 e, também, com os valores dos ensaios com o solo puro, foi possível verificar que houve uma redução nas porcentagens da fração grossa que antes representava cerca de 80% e após a mistura com cal passou a representar pouco mais de 60%. Isto acontece, pois tanto o cascalho quanto a cal são materiais finos que substituem parte da fração grossa.

Além disso, a porcentagem de argila diminuiu à medida que a concentração de cal na mistura é aumentada, pois esta tem função aglomerante, como já foi dito anteriormente, devido à floculação dos grãos.

A adição de cal não provocou grandes alterações na consistência do solo, pois os valores de LL e de IP se mantiveram praticamente constantes, como se pode verificar na Tabela 8.

**Tabela 8 - Resultados dos Limites de Atterberg para as diferentes misturas com Cal**

	LL	LP	IP
*6%	32	22	10
*8%	31	23	8
*10%	32	23	10

\*Porcentagens de Cal adicionadas ao solo-cascalho

Comparando com o solo puro a adição de cal contribuiu para um maior consumo de água, aumentando, assim, a umidade ótima média, como mostra a Tabela 9. Entretanto esse aumento não é linear com o aumento da concentração de cal. Dada a relação inversamente proporcional com a densidade máxima, foi possível também observar a diminuição da mesma, devido ao surgimento de grãos aglomerantes que aumentaram o índice de vazios.

**Tabela 9 - Resultados dos ensaios de Compactação, ISC e Expansão para as diferentes misturas com Cal**

	DENS. MÁX. (kN/m <sup>3</sup> )	UM. ÓTIMA (%)	I.S.C. (%)	EXPANSÃO (%)
*6%	19,61	12,02	61,50	0,50
*8%	19,44	11,95	51,00	1,12
*10%	19,33	12,28	58,50	1,01

\*Porcentagens de Cal adicionadas à mistura

### 3 CONCLUSÃO

Anteriormente, foi dito que o acréscimo de cascalho ao solo puro prejudicava o desempenho do solo quanto a sua capacidade de suporte. No entanto, a adição de cal à mistura proporcionou um retorno de sua capacidade inicial quase se igualando ao do solo puro. Infelizmente, o ISC das misturas não superou o do solo puro.

Os Módulos de Resiliência obtidos, de acordo com cada método estão na Tabela 10.

**Tabela 10 - Resultados dos Módulos de Resiliência para a Mistura Solo, Cascalho de Perfuração e Cal**

Modelo Composto						
Tensões (MPa)	Parâmetros					MR (Mpa)
	$\sigma_3$	$\Sigma d$	k1	k2	k3	
*6%	0,05	0,36	101,4	0,01	-0,2	120,18
*8%	0,05	0,36	81,64	0,03	-0,21	91,47
Modelo da Pressão Confinante						
*6%	0,05	---	98,28	-0,05	---	115,8
*8%	0,05	---	79,187	-0,14	---	122,25

\*Porcentagens de cal adicionadas na mistura

Ainda de acordo com figura 1, é possível classificar ambas as misturas no Grupo A, ou seja, mais uma vez inapropriadas para o uso como base ou sub-base.

No entanto, percebeu-se que o acréscimo de Cal na mistura de solo-cascalho aumentou a capacidade resiliente, melhorando as condições de resistência. Mesmo assim, não foi suficiente para superar a qualidade do solo puro.

Até o presente momento não foi possível realizar os ensaios de Módulo de Resiliência com as misturas de solo, cascalho e cal na proporção de 10%, por indisponibilidade do Laboratório de Geotecnia e Pavimentação da UFS (GEOPAV), onde estavam sendo realizados os ensaios.

O objetivo dessa pesquisa é aplicar o resíduo Cascalho de Perfuração como um material incorporado ao solo para a pavimentação.

Os materiais usados para base e sub-base de pavimentos devem apresentar parâmetros de acordo com a Tabela 11, que os compara com os valores encontrados.

**Tabela 11 - Valores Aceitáveis X Valores Obtidos**

	LL	IP	ISC	EXPANSÃO
BASE	$\leq 25$	$\leq 6$	$\geq 80$	$\leq 0,5$
SUB-BASE	---	---	$\geq 20$	$\leq 1$
SOLO	30	10	79	0,04
SOLO+CASC.	30	12	7	0,03
6%	32	10	61,5	0,5
8%	31	8	51	1,12
10%	32	10	58,5	1,01

De acordo com os resultados, nenhum dos materiais pode ser usado como base para pavimentação, pois nenhuma das misturas nem o próprio solo puro apresentam resultados de acordo com os parâmetros. Para sub-base, o solo puro e a mistura de solo-cascalho-6% Cal se apresentam de acordo com as exigências, isto é, com  $ISC \geq 20\%$  e  $expansão \leq 1\%$ .

De maneira geral, percebeu-se que o cascalho quando misturado ao solo puro não contribuiu para o melhoramento do solo, já com a adição de cal, as misturas recuperaram parte da resistência, se comparadas ao solo puro, principalmente, em relação à capacidade de suporte, o ISC. Mesmo assim, nenhuma das porcentagens aplicadas foi suficiente para superar a capacidade do solo puro.

Verificou-se que a porcentagem aplicada à mistura solo-cascalho mais satisfatória foi a de 6% de cal, pois foi ela que retomou características do solo puro a ponto de qualificar a mistura para o uso com sub-base.

Ao se considerar os aspectos ambientais, o uso do resíduo é viável, pois representa um material alternativo que diminui o volume de solo utilizado na construção de estradas,

reduzindo custos, e acima de tudo, este resíduo terá, finalmente, uma destinação adequada, diminuindo sua capacidade de agressão ambiental.

No entanto, do ponto de vista técnico, o cascalho não é um material bom para uso em pavimentos, pois não melhora a qualidade da base e ou sub-base.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 12007: Solo – Ensaio de Adensamento Unidimensional. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1990.

ABNT. NBR 6457: Amostras de Solos – Preparação para ensaios de compactação e de caracterização. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT. NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Método de Ensaio. ABNT. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT. NBR 6502: Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT. NBR 6508: Grãos de Solos que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da massa específica. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT. NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT. NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT. NBR 9895: Solo – Ensaio de Ensaio Índice de Suporte Califórnia. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT. NBR ISO 2395 : Peneira de ensaio e ensaio de peneiramento. Rio de Janeiro. 1997

ABNT. NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 1986. Rio de Janeiro.

ARAGÃO, ELPÍDIO GABRIEL SILVA. Estudo da Mistura Solo-Cascalho de Perfuração com Adição de Cal. Trabalho de Conclusão de Curso- Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão. 2014

AZEVEDO, ANDRÉ LUIS; Estabilização de solos com

adição de cal. Um estudo a respeito da reversibilidade das reações que acontecem no solo após a adição de cal. Ouro Preto, 2010. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto.

CAVALCANTE, Erinaldo; MOTTA, Laura; UBALDO, Mariluca; et.al.; Construção de Trecho Monitorado com Utilização de Resíduo de Cascalho de Perfuração. XVI Congresso Ibero Latino-Americano de Asfalto. 2011, Rio de Janeiro – Brasil

DNIT. *Manual de Pavimentação*. 3. Ed. – Rio de Janeiro. 2006.

FERREIRA, LAÍS. *Aproveitamento de resíduos petrolíferos e/ou outras fontes geradoras na construção de pavimentos alternativos*. Aracaju, 2011. PIBIC/CNPQ. Universidade Federal de Sergipe.

FIALHO, POLINE FERNANDES; Cascalho de *Perfuração de Poços de Petróleo e Gás. Estudo do Potencial de Aplicação em Concreto*. Vitória, 2012. *Dissertação (Mestrado)*. Universidade Federal do Espírito Santo.

GUIMARÃES, B. ROSSI L. F. DOS SANTOS. *Estudos dos Constituintes dos Fluidos de Perfuração: Proposta de uma Formulação Otimizada e Ambientalmente Correta*. 2007. Campinas-SP. 2007.

PEREIRA, MARINA SEIXAS. *Caracterização de Cascalho e Lama de Perfuração ao Longo do Processo de Controle de Sólidos em Sondas de Petróleo e Gás*. Dissertação de Mestrado- Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2010.

PIRES, PATRÍCIO JOSÉ MOREIRA. *Utilização de cascalho de perfuração de poços de petróleo para a produção de cerâmica vermelha. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, 2009.