

Aproveitamento dos resíduos de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais

Leonardo Cattabriga Freire

Bolsista PCI, Engenharia de Petróleo e Gás, UNES

Núria Fernández Castro

Orientadora, Engenheira de Minas, M. Sc.

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira

Co-orientador, Geólogo, D. Sc.

Resumo

O beneficiamento de rochas ornamentais gera grandes quantidades de resíduos finos, passíveis de uso na composição de argamassas e cimentos. Esta monografia aborda o estudo das pastas de cimento para completação de poços petrolíferos e a possível utilização do resíduo de rochas ornamentais na composição dessa pasta. Descrevem-se aqui, em detalhe, o processo de cimentação de poços, as características do cimento empregado e o comportamento da pasta nas condições de fundo de poço, ambiente de altas pressões e temperaturas. Abordam-se também os problemas ambientais devidos aos resíduos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais no Espírito Santo. As características desses resíduos apontam que sua utilização na composição do cimento empregado é possível. No entanto, estudos posteriores incluindo a elaboração de corpos de prova e a realização de ensaios específicos, em laboratório especializado, devem ainda ser desenvolvidos. Para isso propõe-se a realização de diferentes ensaios de caracterização tecnológica em novas pastas de cimento formadas com adição do resíduo em diversas proporções como: ensaio de reologia, compressão, tempo de espessamento, teor de água livre, índices de vazios, absorção de água e massa específica.

1. Introdução

O Espírito Santo, atual segundo maior produtor de petróleo do país, com sua produção no norte do estado, acaba de descobrir o grande potencial da camada de pré-sal no sul. A camada pré-sal, que se encontra abaixo de seis quilômetros de profundidade de lâmina d'água, teria um potencial de produção, no Espírito Santo de 500.000 barris por dia.

Já a cidade de Cachoeiro de Itapemirim, também no sul do estado, é o maior pólo do Setor de Rochas Ornamentais do Brasil, gerando anualmente toneladas de resíduos. A utilização de resíduos de rochas ornamentais na indústria faz parte de uma boa política ambiental e agrega valor pela geração de novos produtos. Esse tipo de resíduo é matéria prima natural e, em muitos casos rocha inalterada, possuindo diversas aplicações em produtos cerâmicos, vidros, argamassas, entre outros. Especificamente, o desdobramento do bloco em

chapas (serragem) gera em torno de 300.000 t/ano de resíduo fino com aplicações já comprovadas na composição de argamassas e concretos.

2. Objetivo

Este estudo tem por finalidade estudar a viabilidade técnica do uso do resíduo da etapa de serragem de rochas ornamentais (lama abrasiva) como componente da pasta de cimento utilizada na cimentação de poços de petróleo. Além da diminuição do impacto ambiental desses resíduos, esta utilização poderia diminuir os custos de produção desta pasta de cimento.

3. Materiais e Métodos

Para a elaboração deste trabalho foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica sobre cimentação de poços e as características da pasta de cimento utilizada. Por outro lado, foram coletados resíduos de lama de uma serraria da empresa Marcel Granitos, em Cachoeiro de Itapemirim, e caracterizados por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectrometria a Dispersão de Energia (EDS), no CETEM, para ver a possibilidade de sua utilização na pasta do cimento para poços petrolíferos.

3.1 Revisão bibliográfica

A operação de cimentação de poços, que é uma das fases da completação de poços, consiste basicamente em introduzir uma pasta de cimento no espaço anular existente entre a parede do poço e a tubulação de revestimento de forma a criar um tipo de união entre estes elementos. Conseqüentemente, forma um tipo de tampão de cimento produzindo assim um selo hidráulico impermeável. Este processo envolve algumas variáveis como: pressão temperatura, retração, permeabilidade da pasta, tempo de secagem da pasta, dentre outros.

O primeiro poço de petróleo a ser perfurado foi no ano de 1859, mas só em 1903 utilizou-se o cimento em um poço. Em 1923 houve a primeira fabricação de cimento especial para poço de petróleo. Pesquisadores europeus conseguiram uma mistura que, através de aditivos químicos, reduziu o tempo de pega de 7 a 28 dias para algo em torno de 24 a 72 horas (GARCÍA, 2007). Atualmente, o tempo de endurecimento da pasta é de um período de 6 a 8 horas após a cimentação do poço. (COSTA, 2004).

A operação de cimentação pode ser definida como o processo de bombeamento de uma pasta de cimento para o anular do poço, preenchendo assim esse espaço existente entre a parede do poço e o revestimento metálico colocado no poço de acordo com a Figura 1.

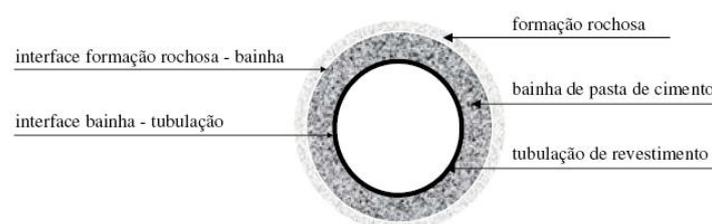


Figura 1: Esquema de divisões do anular e suas interfaces.

Extraído de Bezerra (2006).

As funções desta pasta de cimento na cimentação de poços de acordo com Costa (2004), são: prevenir migrações de fluidos de uma formação para outra, prevenir contaminação das zonas de petróleo, proteger o revestimento de pressões externas e proteger os tubos de aço de possíveis corrosões.

A cimentação dá-se em duas fases: cimentação primária e cimentação secundária.

A primeira corresponde ao processo preenchimento do espaço anular do poço e antes de uma pasta ser bombeada para o poço, ela deve seguir uma série de padrões de qualidade. A qualidade da cimentação primária é fundamental, do contrário, uma série de operações de correção de cimentação deve ser feitas para se corrigir as falhas, representando assim um custo adicional na construção do poço. (GARCIA, 2007). A Figura 2 a mostra um caso típico de falha de cimentação.

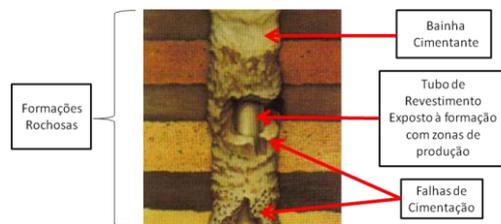


Figura 2: Esquema de poço com falha de cimentação.

Já a cimentação secundária objetiva corrigir a cimentação primária se necessário. Essa cimentação é realizada para eliminar entrada de água de uma zona indesejável, reduzir a razão gás/óleo (RGO) mediante a separação da zona produtora de óleo da zona produtora de gás, reparar vazamentos e abandono de poço. (THOMAS, 2001; FREITAS, 2008). A cimentação secundária classifica-se em três diferentes processos:

- **Recimentação (Figura 3):** realizada quando o cimento não atinge a altura desejada no espaço anular do poço. Este processo é feito através do canhoneio (etapa que objetiva a comunicação da formação produtora com o interior poço) no revestimento do poço, conseguindo assim circulação no espaço anular do poço (NÓBREGA, 2009).
- **Tampões de cimento (Figura 4):** os tampões de cimento consistem no bombeamento para o poço de determinado volume de pasta, que cobre um trecho do poço (FIORINI, 2009). São utilizados quando ocorre abandono total ou parcial do poço, desvios de poço, dentre outros (THOMAS, 2001).
- **Compressão de cimento ou Squeeze (Figura 5):** este processo é caracterizado pela injeção de pequeno volume de cimento no poço, de forma forçada, com o intuito de corrigir vazamentos na tubulação de revestimento, sanar a produção de água nas zonas de produção e corrigir localmente a cimentação primária (COSTA, 2004).

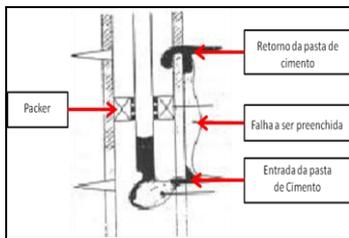


Figura 3: Recimentação

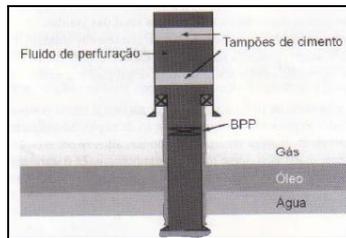


Figura 4: Tampões de cimento

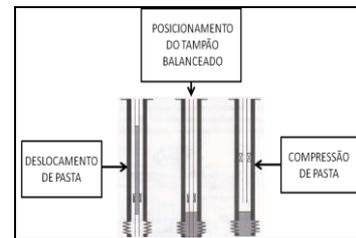


Figura 5: Squeeze

3.1.1 Características da pasta do cimento

O cimento utilizado para estas operações é muito específico e de acordo com Silva *et al.* (2006, p. 3744) “o cimento Portland é o material mais utilizado na cimentação de poços de petróleo”. Sua fabricação ocorre através das operações de mineração e britagem do calcário, preparo e dosagem da mistura crua, homogeneização da mistura, clínquerização e resfriamento e moagem de cimento. O clínquer pode ser definido como o cimento na primeira fase do fabrico, a partir do qual se fabrica o cimento Portland, geralmente com adição de sulfato de cálcio, calcário ou escória siderúrgica. Do ponto de vista químico, os pós são considerados como misturas de óxidos de cálcio, alumínio, silício, magnésia, ferro, potássio e sódio que durante o aquecimento se combinam para formar silicatos de cálcio e aluminatos, os quais são referenciados como clínquer. (FREITAS, 2008).

Tabela 1. Composição química do cimento Portland

Os principais componentes químicos do cimento Portland	
Cal (CaO)	60 % e 67 %
Sílica (SiO ₂)	17 % a 25 %
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 % a 8 %
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	0,5 % a 6 %

Fonte: Freitas (2008)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) classifica o cimento Portland em dois grupos que são encontrados no mercado brasileiro. O primeiro grupo corresponde aos cimentos utilizados na construção civil e o segundo ao cimento utilizado na cimentação de poços petrolíferos. Já para a American Petroleum Institute (API), o cimento possui diferentes classes que são representadas pelas letras A, B, C, D, E, F, G, H, I e J. Os principais cimentos utilizados para poços de petróleo são os das classes G e H, sendo similares quimicamente com o cimento Tipo I da ASTM.

Essa classificação é função das condições de uso, composição química do clínquer, distribuição das fases, profundidade e temperatura de poços de petróleo (THOMAS, 2001), e as classes G e H são utilizadas sem

aditivos químicos, em profundidades que variam da superfície até 2440 metros. Como possuem composições parecidas com aceleradores ou retardadores de pega podem ser usados em todas as condições dos cimentos classe A até E.

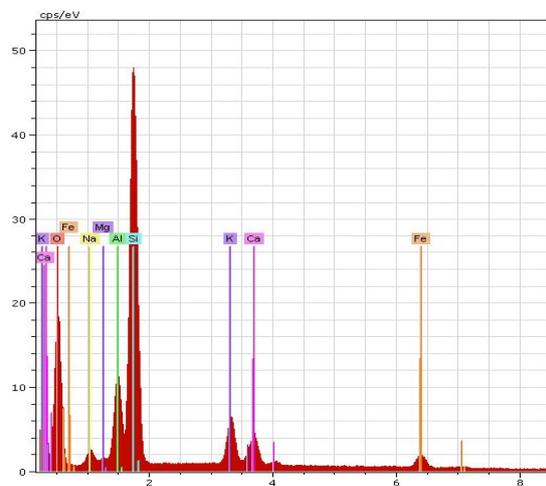
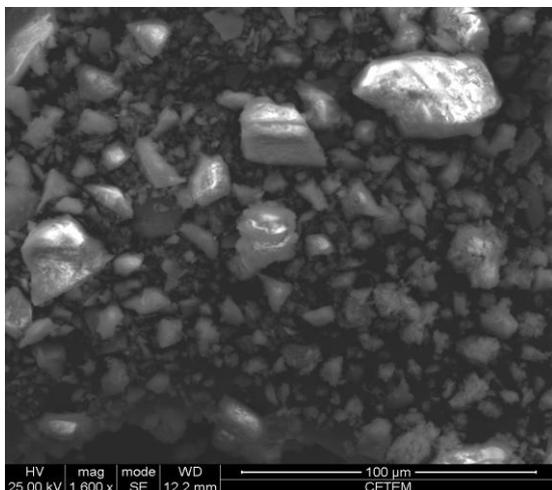
Uma pasta de cimento deve apresentar características de baixa viscosidade, não gelificar, manter constante sua consistência até o momento de pega, dentre outras, para o qual é utilizada uma grande variedade de aditivos. Os principais tipos de aditivo mais utilizados na cimentação de poços de acordo com Nóbrega (2009), são: controladores de filtrado, aceleradores de pega, retardadores de pega, dispersantes, antiespumantes e espumantes.

3.2 Caracterização do resíduo de rochas ornamentais

O resíduo da serragem de rochas ornamentais é uma lama abrasiva composta de água, cal, pó de pedra e granalha de ferro ou aço. Esse resíduo é depositado em tanques de secagem sendo, na maioria das vezes, descartado. Trata-se de um resíduo de granulometria fina (Tabela 2), porém heterogêneo com diversos tamanhos de grão e com bastante angulosidade, como pode-se observar na Figura 6. Os componentes principais são óxidos de silício, alumínio, cálcio, ferro, sódio, potássio e outros (Figura 7).

Tabela 2. Composição Granulométrica do resíduo (Ensaio realizado no CETEM)

Resíduo de Rochas Ornamentais	
Peneira ABNT, abertura (mm)	Percentual (%)
1,7	0,03
1,18	0,02
0,85	1,87
0,6	8,55
0,42	14,33
0,3	13,68
0,15	50,97
< 0,150	10,24
Dimensão Máxima característica	0,15 mm



4 Resultados e Discussão

Em função das características do resíduo de rochas ornamentais, a princípio, parece viável sua utilização na formação de uma nova pasta de cimento. Para isso, foi feito o estudo bibliográfico apresentado sobre as características da pasta de cimento utilizada na completação de poços. O próximo passo seria a realização dos principais ensaios com essa nova pasta de cimento, contendo resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais em diversas proporções, para se obter características idênticas a pasta de cimento utilizada pelas empresas e comprovar se a adição deste resíduo é possível. Os principais ensaios a serem realizados com a pasta de cimento em laboratório são descritos pela norma NBR 9831, e tem a finalidade de verificar as propriedades básicas e as condições do cimento visando sua utilização em poços, bem como simular operações com esta pasta, no intuito de adequar o sistema da pasta com a concentração de aditivos. Devido à dificuldade de se obter amostras de cimento específico e local para a realização dos ensaios, essa parte prática não foi desenvolvida neste trabalho. Considera-se fundamental, como trabalho futuro, a realização desse teste prático que consiste nos ensaios a seguir descritos.

Reologia: para estudar o comportamento viscoso da pasta. O ensaio reológico é feito em um viscosímetro rotativo.

Tempo de Espessamento: o teste de tempo de espessamento é o mais importante, por mostrar o tempo real em que uma pasta de cimento pode se movimentar nas condições de fundo de poço sem perder sua consistência. O teste é realizado em um consistômetro pressurizado, que permite o aumento da temperatura e pressão, ao mesmo tempo em que se simula o movimento da pasta.

Resistência a Compressão: o teste de Resistência de Compressão mede o esforço necessário para o rompimento de um corpo de prova em condições de fundo de poço, onde a pasta de cimento está exposta a altas temperaturas e pressões.

Teor Água Livre: a determinação do conteúdo de água livre no cimento para poços petrolíferos determina a quantidade de água que tende a percorrer a pasta de cimento formada. O teor de água livre deve ser limitado, principalmente, para evitar canalizações de gás após a cimentação do poço e evitar diferenciamento do endurecimento da água acumulada em cima da pasta.

Índice de Vazios, Absorção D'água e Massa Específica: o índice de vazios, a absorção de água e a massa específica são medidos de acordo com a norma NBR 9778 e são parâmetros importantes a serem medidos pois interferem diretamente na permeabilidade, na resistência, e na durabilidade das pastas de cimento. Quanto maior a porosidade de um material, menor é a sua resistência.

5 Conclusão

Este trabalho foi elaborado com o intuito de buscar novas alternativas de utilização do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais. No Espírito Santo, a grande quantidade existente desses resíduos representa um problema ambiental e diversos estudos mostram sua aplicabilidade na composição de diversas argamassas e pastas de cimento. Por outro lado, a recente descoberta de jazidas petrolíferas no estado aponta uma futura necessidade de grandes quantidades de cimento para a completação de poços. Este trabalho representa um primeiro estudo de utilização deste resíduo na indústria petrolífera. Pelas características do resíduo de corte de rochas ornamentais (químicas e granulométricas) parece ser possível seu uso na pasta de cimento para poços, embora devido à angulosidade de alguns grãos a fluidez da pasta possa não ser a apropriada para as operações de cimentação. A preparação de amostras de cimento com diversas proporções de resíduos de rochas ornamentais e a realização de ensaios nas pastas elaboradas é fundamental para demonstrar efetivamente essa possibilidade. Entretanto, devido à dificuldade de obtenção de amostras de cimento e laboratório especializado para realização de ensaios normatizados, o presente trabalho não chegou nessa parte prática. Sugere-se aqui, então, a continuação do estudo para uma possível dissertação de mestrado em articulação com a indústria petrolífera.

6 Agradecimentos

Agradeço ao CETEM pela Bolsa de Capacitação Institucional. Também agradeço aos meus familiares e amigos por sempre acreditarem no meu futuro e a todos os companheiros do CETEM/CACI.

7 Referências Bibliográficas

BEZERRA, Ulisses Targino. **Compósitos portland-biopolímero para cimentação de poços de petróleo**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

COSTA, Julio Cesar do Couto. **Cimentação de poços de petróleo**. Monografia (Engenharia de Exploração e Produção de Petróleo) – Universidade Estadual Fluminense, Macaé, 2004.

FIORINI, Lourival Magnago. Apostila da disciplina de Completação de poços no curso de Engenharia de Petróleo e Gás na Faculdade do Espírito Santo, Cachoeiro de Itapemirim, 2009.

FREITAS, Julio Cezar de Oliveira. **Adição de poliuretana em pastas de cimento para poços de petróleo como agente de correção de filtrado**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

GARCIA, Marcela Inés. **Adição de biopolímero em pastas de cimento para utilização em poços de petróleo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – UFPR, Curitiba, 2007.

NÓBREGA, Andreza Kelly Costa. **Formulação de pastas cimentícias com adição de suspensões de quitosana para cimentação de poços de petróleo.** Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SILVA, L.B, et al. Caracterizações físico-química e mecânica de compósitos de Cimento portland g/ poliuretanas para cimentação de poços de Petróleo. In: 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, **Anais**. Foz do Iguaçu, PR: CBECIMat, 2006, p. 3744-3755.