

10º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Estudo paramétrico para aplicação de rejeitos oriundos da produção de petróleo em concreto não estrutural

AUTORES:

Gilmar Guilherme da Silva¹, Francisco Henrique Bento Leite¹, Rafael Ítalo Gomes Liberato¹, Kilton Renan Alves Pereira¹, Larissa Fernandes Queiroz¹, Fabio Pereira Fagundes¹, Keila Regina Santana Fagundes²

INSTITUIÇÃO:

¹Universidade Potiguar, ²Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Parametric study for the application of tailings from petroleum production in non-structural concrete

Abstract

Produced water (PW) and drilling gravel are tailings of oil exploration, produced large scale, that feature a high operating cost for treatment and disposal. In recent years, studies have conducted on reuse of tailings in building materials, becoming economic and ecological alternative promising front the final destination. For this reason, the present work aims to evaluate the effect that each variable (gravel concentration, fineness modulus, water cement factor, PW concentration) exerts on the compressive strength of non-structural concrete. The gravels were greenhouse dried, wrecked and quartered according to the procedure described in the literature and subsequently used as substitutes for fine aggregate in concrete. In parallel, the PW was characterized by its chemical constitution and used in the confection of concrete in different concentrations. The testing bodys were submitted to the axial compression test, according to specifications of NBR 5739/2007. A factorial design, standardized effect graphs and response surfaces were used in order to maximize the use of these tailings and to evaluate the interactions between the studied variables. From the obtained results it was evidenced that the water/cement (W/C) factor 0.5 with percentage the 30% of PW and the gravel associated with the factor W/C of 0.7 and fineness module (FM) of 2.3 presented higher compressive strength, from 33, 0 and 23.0 MPa at 28 days, respectively, than shown in the reference. Therefore, proving the promising potential of application in non-structural concrete.

Introdução

A água produzida é um rejeito oriundo dos processos de separação nas bases coletoras e também, do tratamento na produção de petróleo. O tratamento e destinação final desse efluente tem se tornado um imenso desafio para a indústria do petróleo atual (ARTHUR; LANGHUS; PATEL, 2005). A problemática reside na dificuldade de degradação dos compostos químicos presentes na AP até um nível apropriado que possibilite o descarte na natureza. A alternativa a ser escolhida para tratamento e destinação final do efluente está condicionada a de vários fatores, tais como: legislação, localização da base de tratamento e produção, viabilidade técnica envolvendo disponibilidade de equipamentos, infraestrutura e custos (MOTTA et al., 2013). O descarte deve atender aos requisitos fixados na legislação vigente nos vários setores de exploração de petróleo, por exemplo, em plataformas offshore no Brasil, o descarte deve atender à Resolução Conama nº 393 (BRASIL, 2010).

Em paralelo, o cascalho de perfuração é um rejeito produzido em grandes quantidades, oriundo de rochas com composição química heterogênea e impregnados ao fluido de perfuração (LEONARD; STEGEMANN, 2010), decorrentes do processo de extração de petróleo e, quando não tratados e descartados de maneira adequada, podem ocasionar vários danos ao meio ambiente. A disposição e o tratamento desse resíduo são complexos, requerendo assim um cuidado efetivo, tendo em vista que hidrocarbonetos e sais solúveis, que variam de acordo com a temperatura ambiente do meio fazem parte de sua constituição e estes podem provocar sérios prejuízos à natureza (BALL; STEWART; SCHLIEPHAKE, 2012).

Estudos recentes vêm analisando a incorporação de rejeitos em materiais da indústria da construção civil, visando encontrar alternativas ecologicamente corretas para o reuso desses resíduos,

alinhas ao potencial de aplicação na respectiva área. Nesse contexto, a fim de encontrar uma alternativa econômica e ecológica para destinação do cascalho e AP e entender os mecanismos inerentes ao calor de hidratação do cimento em presença desses resíduos, o objetivo desse trabalho consiste em avaliar o efeito que cada variável (concentração de cascalho, fator água cimento (A/C), módulo de finura, concentração de AP) exerce na resistência à compressão do concreto não estrutural. Em paralelo, através de modelagem fatorial (software *Statistica* 7.0) mapear o efeito sinérgico dessas variáveis em função da resistência à compressão do concreto, de forma a encontrar o efeito estatístico que cada parâmetro exerce na variável resposta (resistência à compressão).

Metodologia

Materiais

O aglomerante utilizado foi o Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) com até 5% em massa de material carbonático. Todo material agregado foi previamente lavado com água corrente e seco em estufa durante 24 horas.

Os cascalhos de provenientes da perfuração de poços em terra e a água produzida (AP) foram gentilmente cedidos pelas empresas que executam operações nas unidades da UO-RN/CE.

O agregado graúdo foi a brita 1 granítica e o agregado miúdo foi a areia fina, com módulo de finura 2,3, conforme está descrito na NBR 7211/2005, ambos foram caracterizados segundo as normas técnicas NBR 248/2003 e NBR 53/2003.

Composição química da água produzida

A análise química da água produzida de petróleo seguiu as exigências normativas (NM 137:97) quanto ao pH (5,5-9), cloreto (2000ppm), sulfato (2000ppm).

Caracterização do cascalho de perfuração

Os cascalhos de perfuração, antes de serem submetidos a todos os ensaios, foram secos em estufa a 100°C durante 24 horas, destorroados manualmente, quarteados e preparados de acordo com o procedimento descrito na literatura.

Composição química do cascalho de perfuração

A técnica utilizada para determinação da composição química dos cascalhos de perfuração foi por espectrometria por fluorescência de raios-X (FRX), a partir de um espectrofotômetro modelo XRD 6000 da Shimadzu.

Resistência mecânica à compressão uniaxial

Os corpos de prova cilíndricos de dimensões (10 x 20 cm) foram moldados de acordo com o que está descrito na NBR 5738/2003 e submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial aos 28 dias, sendo retirados da cura em imersão um dia antes da realização do ensaio para retificação das faces.

Os ensaios de resistência à compressão axial foram conduzidos conforme especificações da NBR 5739/2007.

Metodologia de superfície de resposta (MSR)

Utilizando o software *Statistica* 7.0 foi possível realizar um planejamento experimental fatorial 3^2 , na qual os níveis foram codificados como -1 (baixo), 0 (ponto central) e +1 (alto). Primeiramente foi avaliado a utilização do teor de cascalho de perfuração (30, 50 e 70 %) e fator A/C (0,3, 0,5, 0,7) na obtenção da variável resposta resistência à compressão (MPa). E em seguida a utilização da água produzida (%) em função do fator A/C (0,6, 0,7, 0,8) para obtenção da variável resposta resistência à compressão (MPa).

Resultados e Discussão

Composição química da água produzida

A Tabela 1 mostra os resultados da análise química da AP comparada a norma NM 137:97.

Tabela 1. Análise química da AP utilizada no trabalho.

Parâmetro	Unidade	Resultado	NM 137:97
pH		7,28	5,5 – 9
Cloreto	mg/L	654,21	2000mg/L
Sulfato	mg/L	47,05	2000mg/L

Fonte: Dados fornecidos pelas UO RN/CE.

A partir da análise acima, percebe-se que o pH obtido da água foi de 7,28, a concentração de cloreto foi 654,21 mg/L e 47, 05 de sulfato. Dessa forma, é sabido que os resultados de todos os parâmetros, quando comparado à norma de referência, satisfazem os limites estabelecidos e, portanto, é possível utilizar a água produzida no concreto como substituição parcial da água de amassamento, sem que a mistura seja prejudicada pela existência de alguma reação química desfavorável.

Caracterização do cascalho de perfuração

A Tabela 2 mostra os ensaios realizados para a caracterização física dos agregados utilizados no trabalho, conforme as especificações previstas nas normas.

Tabela 2. Caracterização física do agregado miúdo e graúdo.

DESCRIÇÃO DO ENSAIO	AREIA NATURAL	CASCALHO	NORMA TÉCNICA
Diâmetro Máximo Característico (DCM)	4,75 (mm)	4,75 (mm)	NBR NM 248/2003
Massa Específica	2,77 (kg/dm ³)	2,38 (kg/dm ³)	NBR NM 52/2009

Massa Unitária	1,42 (kg/dm ³)	1,26 (kg/dm ³)	NBR NM 45/2006
Determinação do Teor de Umidade	1,27 (%)	2,97 (%)	NBR 9775/2011
Agregado Graúdo			
Diâmetro Máximo Característico (DCM)	19 (mm)		NBR NM 248/2003
Módulo de Finura (MF)	6,7		NBR NM 248/2003
Massa Unitária	1,47 (kg/dm ³)		NBR NM 45/2006
Determinação do Teor de Umidade Total	0,06 (%)		NBR 9939/2011

Fonte: Autor

De acordo com os dados apresentados na Tabela 2, fica evidenciado que o parâmetro do teor de umidade presente no cascalho de perfuração é superior ao do agregado miúdo (areia). Isso implica em um ajuste do fator A/C do sistema, tendo em vista a presença de grupos argilosos no cascalho, os quais serão responsáveis por uma maior absorção de água.

Composição química do cascalho de perfuração

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos no ensaio fluorescência raios X na amostra de cascalho de perfuração.

Tabela 3. Composição química do cascalho de perfuração.

Componentes	Concentração (%)
CaO	28,85
SiO ₂	27,98
Fe ₂ O ₃	12,97
BaO	10,82
Al ₂ O ₃	10,32
K ₂ O	3,17
MgO	2,54
SO ₃	2,06
SrO	1,18
ZnO	0,11
Σ	100,00

Fonte: Autor

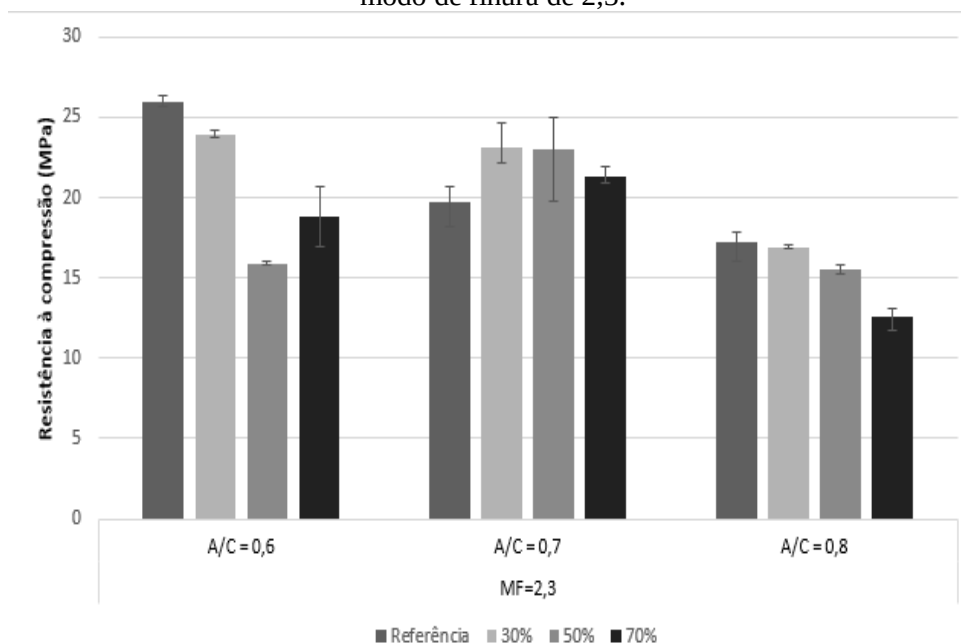
A partir dos resultados apresentados na tabela acima, percebe-se que os compostos (CaO), (SiO₂), (Fe₂O₃) representam aproximadamente 70% da composição da amostra, o que definitivamente implica em um material pozolânico (MOTHÉ, 2004). A alta concentração do óxido de (SiO₂) no sistema corrobora a forte presença de argila e finos no cascalho de perfuração, o que possivelmente é responsável por afetar diretamente o fator a/c do sistema.

Resistência mecânica à compressão uniaxial

A Figura 1 mostra, respectivamente, a variação da resistência à compressão dos corpos de prova que foram submetidos ao ensaio de compressão uniaxial em função do fator água/cimento para o traço

de referência e para os traços com 30%, 50% e 70% de cascalhos de perfuração com módulo de finura 2,3.

Figura 1. Resistência à compressão dos corpos de prova em função do fator água/cimento para o modo de finura de 2,3.



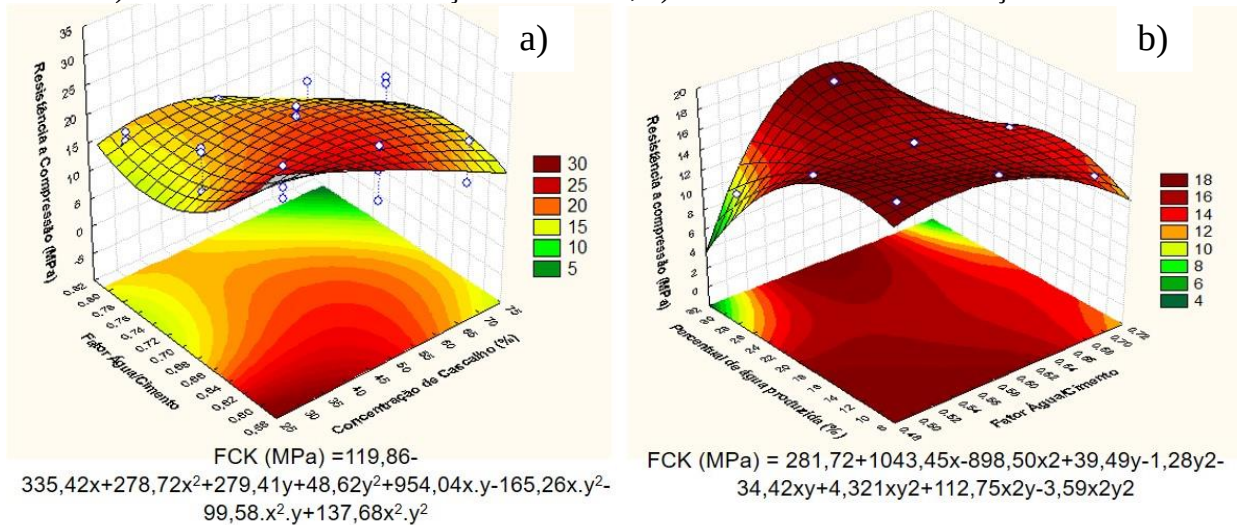
Fonte: Autor

Conforme os resultados apresentados na Figura 1, é perceptível uma variação na resistência à compressão dos corpos de prova de referência e dos corpos de prova com diferentes concentrações de cascalho em todos os fatores A/C utilizados na pesquisa. Além disto, no fator A/C 0,7 associado as diferentes concentrações de cascalho apresentaram resistências à compressão (MPa) superiores a obtida na referência, com valores de $23,1 \pm 1,3$; $22,97 \pm 2,5$ e $21,35 \pm 0,5$, para 30, 50 e 70% de cascalho, respectivamente. Dessa forma, é provável que exista uma zona ótima entre fator A/C e concentração de cascalho para obtenção de maiores resistências a compressão.

Metodologia de superfície de resposta (MSR)

A Figura 2 mostra os gráficos de superfície de resposta da interação das variáveis estudadas (concentração de Cascalho/fator A/C **(1)**, concentração de AP/fator A/C **(2)**) em função da variável reposta Resistência a Compressão (MPa), e as respectivas equações matemáticas que descrevem o modelo.

Figura 2. Mapeamento por superfície de resposta da resistência à compressão em função das variáveis: a) fator A/C versus concentração de cascalho; b) fator A/C versus concentração de AP.



Fonte: Autor

A partir da Figura 2, se observa no gráfico (a) que para baixas concentrações de cascalho de perfuração com menor fator A/C, se obtém um resultado em torno de 30 MPa de resistência à compressão. Porém, altas concentrações de cascalho (acima de 45%, aproximadamente), associada ao crescimento do fator A/C, promoveu uma redução nos valores de resistência a compressão (representados no gráfico pela região delimitada com cores mais claras); ainda, à medida em que se aumenta a concentração de cascalho e o fator A/C, nas mesmas proporções, a resistência à compressão decai significativamente, isso ocorre, provavelmente, devido ao percentual de argilominerais presente no cascalho de perfuração que é responsável por absorver uma maior quantidade de água e gerar um maior número de vazios. O comportamento apresentado no gráfico (b), isto porque, nesta superfície a região que apresenta maiores valores de resistência à compressão está associada a baixas concentrações de AP, inferiores a 20%, e menores fatores A/C. Em concentrações superiores a 20%, percebe-se que a resistência à compressão começa a cair consideravelmente, independente do fator A/C utilizado, com exceção de uma pequena zona localizada entre os fatores A/C 0,55 e 0,62, onde a resistência a compressão se aproxima dos 20 MPa. É possível que a diminuição dos valores de resistência à compressão, para altas concentrações de AP, esteja diretamente associada a composição química do efluente, a forte presença de sulfatos e cloretos e demais compostos químicos presentes não analisados.

Conclusões

A partir dos resultados obtidos foi evidenciado que o fator A/C 0,5 com percentual de AP de 30% e o cascalho associado ao fator A/C de 0,7 e MF de 2,3 apresentaram maiores resistência à compressão, 33,0 e 23,0 MPa aos 28 dias, respectivamente, do que o apresentado na referência. Sendo assim os rejeitos oriundos da perfuração de poços de petróleo, cascalho e AP, em virtude de suas propriedades mecânicas, caracterizam uma alternativa promissora frente à inserção no concreto.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Potiguar – Campus Mossoró-RN, pelo apoio e suporte.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimentos para Moldagem e cura dos corpos-de-prova. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado miúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

ARTHUR, J. Daniel; LANGHUS, Bruce G.; PATEL, Chirag. Technical summary of oil & gas produced water treatment technologies. **All Consulting, Tulsa**, v. 1, n. 1, p.1-53, mar. 2005.

BALL, Andrew S; STEWART, Richard J.; SCHLIEPHAKE, Kirsten. A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings. **Waste Management & Research**. Austrália, p. 457-473. maio 2012.

BRASIL, Senado Federal. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos-Brasília: Gráfica do Senado**, 2010.

LEONARD, Sunday A.; STEGEMANN, Julia A.. Stabilization/solidification of petroleum drill cuttings. **Journal Of Hazardous Materials**. London, p. 463-472. fev. 2010.

MOTTA, Albérico Ricardo Passos da et al. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Salvador, v. 18, n. 1, p.15-26, mar. 2013.