

POTENCIAL DE USO DA ÁGUA PRODUZIDA ORIUNDA DA PRODUÇÃO DE PETRÓLEO NA CONFECÇÃO DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL

Mayra Almeida Cavalcante (1); Cleiton Lima Sousa (2); Nemísio Fernandes de Paiva (3); Yalamo Costa Bezerra (4); Keila Regina Santana Fagundes (5); Fabio Pereira Fagundes (6)

(1) *Universidade Potiguar, mayraacavalcante@hotmail.com*

(2) *Universidade Potiguar, cleitonsousa360@gamil.com*

(3) *Universidade Potiguar, nemisiofp@gmail.com*

(4) *Universidade Potiguar, yalamocosta@hotmail.com*

(5) *Universidade Federal Rural do Semi-Árido, keilaregina@ufersa.edu.br*

(6) *Universidade Potiguar, fabiofagundes_unp@yahoo.com.br*

RESUMO

O processo de produção de petróleo pelas indústrias petrolíferas é uma prática constante no Brasil e no mundo. O descarte da água produzida em campos de petróleo, que é gerada em grande quantidade, tem se tornado uma problemática ambiental. O cuidado com a disposição e tratamento desse resíduo deve receber atenção especial, pois hidrocarbonetos e sais solúveis presentes em sua composição podem acarretar graves consequências ao meio ambiente, requerendo, assim, alternativas que visem encontrar uma destinação econômica e ecológica para esse rejeito. Em paralelo, com o avanço da tecnologia do concreto pela introdução de novos componentes e adições minerais, observa-se que a composição e a produção dos blocos de concreto passam por um processo de avanço significativo, inclusive com a possibilidade de inserção de resíduos industriais. Por essa razão, o objetivo principal desse trabalho consiste em avaliar o potencial de uso da água produzida de petróleo na confecção de concreto não estrutural. Foi realizada uma modelagem fatorial (Software *Statistica* 7.0) com o intuito de avaliar o sinergismo entre o fator água/cimento e a concentração de água produzida (%) na resistência à compressão dos corpos de prova. De acordo com os resultados obtidos, ficou comprovado que a adição de até 20% da água produzida no concreto é capaz de aumentar a resistência à compressão dos corpos de prova (18 Mpa) em comparação com o traço de referência (16 Mpa). Esses resultados são indicativos de que esse passivo ambiental constitui um promissor potencial frente às tecnologias limpas para aplicação na construção civil.

Palavras-chave: Água produzida, resistência à compressão, concreto, modelagem fatorial.

1. INTRODUÇÃO

Devido ao crescente volume de resíduos gerados pela exploração e produção de petróleo em todo o mundo, o descarte de rejeitos como a água produzida de petróleo (AP) oriunda das etapas de produção, respectivamente, tem se tornado ultimamente uma problemática ambiental (SOKOLOV et al., 2009).

A água produzida é o efluente resultante dos processos de separação existentes nas estações coletoras e de tratamento na produção de petróleo. O tratamento e descarte desse efluente tem se tornado um dos maiores desafios da indústria do petróleo atual (JACINTO JUNIOR et al., 2008). A problemática consiste na dificuldade de degradação de todos os compostos presentes na água produzida até um nível

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

www.conepetro.com.br

adequado que permita o descarte seguro desta água no meio ambiente. A alternativa a ser adotada para tratamento e destino da AP depende de vários fatores, tais como: localização da base de produção, legislação, viabilidade técnica, custos e disponibilidade de infraestrutura e de equipamentos (Mota et al., 2013). O descarte deve ser realizado de modo a atender a legislação vigente nos diversos setores de operação, por exemplo, em plataformas marítimas no Brasil, o descarte deve atender à Resolução Conama nº 393.

A literatura relata inúmeras técnicas para tratamento de água produzida, no entanto, em virtude do alto custo e da necessidade de tratamento do passivo gerado, o reuso do rejeito apresenta-se como um potencial promissor para minimizar essa problemática ambiental.

Dessa forma, consiste em um desafio-chave encontrar alternativas capazes de utilizar a água produzida de petróleo em níveis aceitáveis no concreto, de forma a minimizar o dano ambiental causado por esse rejeito. Diante disso, este trabalho tem como objetivo maximizar o reuso dessa água na fabricação de concreto não estrutural, utilizando o software *Statistica 7.0*, de forma a mapear as interações entre o fator água/cimento e o percentual de água produzida.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

Neste estudo foi utilizado cimento Portland de alta resistência inicial CP V-ARI (CP-V), areia média lavada e brita 1 (calcária). A água produzida foi cedida pelas unidades operacionais CE/RN de petróleo.

2.2 Etapa experimental

A etapa foi realizada na seguinte sequência: coleta de água produzida de petróleo; separação granulométrica do agregado miúdo e graúdo; determinação das propriedades físicas e químicas dos agregados; confecção de corpos de prova; teste de resistência à compressão uniaxial; mapeamento por modelagem fatorial das interações AP e fator a/c.

2.3 Caracterização física do agregado miúdo e graúdo

A caracterização física do agregado miúdo e graúdo seguiu as exigências das normas vigentes quanto ao Diâmetro Máximo Característico (DMC), Massa Específica, Massa Unitária, Umidade total e determinação do Teor de Umidade, conforme pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização física do agregado miúdo de origem natural

Descrição do ensaio	Norma Técnica
Agregado Miúdo	
Módulo de Finura (MF)	NBR NM 248/2003
Diâmetro Máximo Característico (DMC)	NBR NM 248/2003
Massa Específica	NBR NM 52/2009
Massa Unitária	NBR NM 45/2003
Determinação do Teor de Umidade	NBR 9775/2011
Agregado Graúdo	
Módulo de Finura (MF)	NBR NM 248/2003
Diâmetro Máximo Característico (DMC)	NBR NM 248/2003
Umidade Total	NBR NM 9939/2009

Fonte: Autor

2.4 Resistência mecânica à compressão uniaxial

Os corpos de prova cilíndricos de dimensões (10 x 20 cm) foram 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 em triplicata e conforme especificações da NBR 5739 (ABNT, 2007).

2.5 Otimização por modelagem fatorial

Superfícies de respostas foram utilizadas para examinar as relações entre duas ou mais variáveis e um conjunto quantitativo de fatores experimentais. Esses métodos estatísticos foram empregados após uma triagem dos fatores importantes, que geralmente é realizada previamente por um planejamento fatorial. Após isso, foi preciso encontrar os níveis de fatores que otimizassem a resposta. Dessa forma, para estudar as interações entre as variáveis responsáveis por influenciar a resistência mecânica à compressão dos corpos de prova, um planejamento foi adotado levando em consideração a composição da água produzida. A Tabela 2 mostra os níveis dos fatores que foram codificados: -1 (baixo), 0 (ponto central) e 1 (alto). Para tratamento dos dados, o programa estatístico Statistica Software versão 7.0 foi empregado para obtenção dos efeitos, coeficientes e desvio padrão dos coeficientes e as superfícies de resposta e de outros parâmetros estatísticos dos modelos ajustados. Após a realização de uma triagem dos fatores com o planejamento fatorial, uma análise de superfície de resposta empregando planejamento composto central foi realizada para se obter o máximo percentual de água produzida a ser utilizado no concreto não estruturado, com base na substituição da água por AP em um traço convencional de concreto de 1:2:2 (Traço em massa).

Tabela 2: Planejamento fatorial adotado (3^2) para os experimentos

Experimentos	Fator água/cimento (A/C)	Percentual de AP (%)
1	0,5 (-1)	10 (-1)
2	0,6 (-1)	10 (0)
3	0,7 (-1)	10 (+1)
4	0,5 (-1)	20 (-1)
5	0,6 (-1)	20 (0)
6	0,7 (-1)	20 (+1)
7	0,5 (-1)	30 (-1)
8	0,6 (-1)	30 (0)
9	0,7 (-1)	30 (+1)

Fonte: Autor

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do agregado miúdo e graúdo

Para o desenvolvimento da pesquisa o agregado miúdo e graúdo foi caracterizado fisicamente, seguindo as normas pré-estabelecidas, conforme pode ser visualizado na Tabela 3 os resultados obtidos.

Tabela 3: Caracterização física do agregado miúdo e graúdo.

Descrição do ensaio	Areia natural	Norma Técnica
Diâmetro Máximo Característico (DCM)	4,75 (mm)	NBR NM 248/2003
Massa Específica	2,77 (kg/dm ³)	NBR NM 52/2009
Massa Unitária	1,42 (kg/dm ³)	NBR NM 45/2006
Determinação do Teor de Umidade	1,27 (%)	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

Os agregados miúdos utilizados na pesquisa foram fracionados e aplicados em zona padrão, a qual define o Módulo de Finura como uma região compreendida entre 2,30 e 2,90.

3.2 Determinação da resistência à compressão uniaxial

Para a determinação da resistência à compressão dos corpos de prova de referência e os contendo água produzida de petróleo, corpos cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, foram rompidos após um período de 28 dias. Todos os processos realizados nesse ensaio foram de acordo com os métodos especificados na NBR 5739 (2007). A Tabela 4 mostra os resultados de resistência à compressão para o planejamento experimental adotado.

Tabela 4: Resultados de resistência à compressão (Mpa) para o planejamento experimental adotado

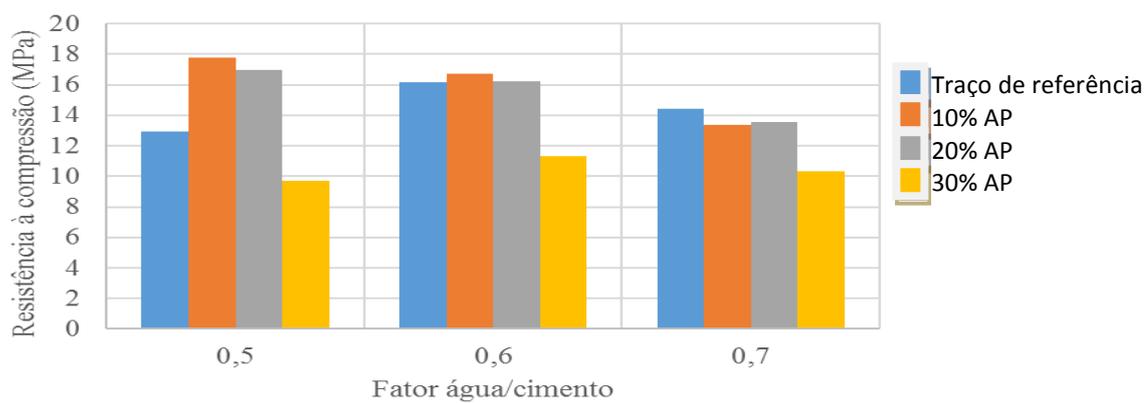
Experimentos	Fator água/cimento (A/C)	Percentual de AP (%)	Resistência à compressão (Mpa)
Referência 1	0,5	0	12,95
Referência 2	0,6	0	16,15
Referência 3	0,7	0	14,4
1	0,5 (-1)	10 (-1)	17,81
2	0,6 (0)	10 (-1)	16,70
3	0,7 (+1)	10 (-1)	12,93
4	0,5 (-1)	20 (0)	15,98
5	0,6 (0)	20 (0)	15,57
6	0,7 (+1)	20 (0)	13,57
7	0,5 (-1)	30 (+1)	9,71
8	0,6 (0)	30 (+1)	17,50
9	0,7 (+1)	30 (+1)	10,35

Fonte: Autor

Em paralelo, os procedimentos realizados para adquirir os valores de consistência, por meio do ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump Test*), seguiram todas as exigências da NBR NM 67. Foram realizadas médias nos valores de abatimento observado em todos os traços de referência com o fator a/c (0,5; 0,6 e 0,7) com os seguintes resultados, respectivamente, 8, 16 e 24 cm.

Analisando a resistência compressão, característica mecânica do concreto, a Figura 1, mostra os resultados obtidos em corpos de prova em função do fator água/cimento (a/c) e concentração de água produzida.

Figura 1: Valores de resistência à compressão (MPa) em função do fator água/cimento para os corpos de prova utilizados



Fonte: Autor

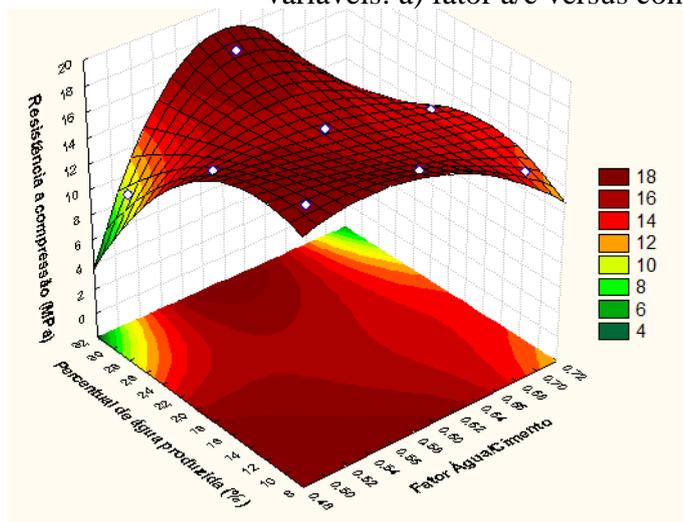
De acordo com os resultados obtidos na Figura 1, ficou constado que concentrações de até 20% de água produzida e com fator água/cimento de até 0,6 foram responsáveis por proporcionar uma maior resistência à compressão dos corpos de prova comparados ao de referência. Por

outro lado, em concentrações de AP acima de 20%, ficou constatado uma redução significativa na resistência à compressão dos corpos de prova (aproximadamente 10 Mpa). Esse efeito pode ser justificado devido ao fato de que altas concentrações da AP serem responsáveis pela redução do teor de água livre no meio, além disso, a difusão dos íons cloretos presentes aumenta em função do fator A/C, conforme mostra MEDEIROS et al. (1999), LOPES (1999), ISAIA (2011), MONTEIRO (1996). O coeficiente de difusão de cloretos diminuiu com a redução da relação água/cimento no concreto, devido à porosidade e seu grau de hidratação, o que definitivamente pode explicar os melhores resultados de resistência com o menor fator A/C.

3.3 Mapeamento por superfície de resposta

Com o objetivo de avaliar o mapeamento das interações das variáveis estudadas, em função da resposta de resistência à compressão (MPa), foi utilizada a metodologia de superfície de resposta com o objetivo de avaliar os fatores que mais influenciam a resistência à compressão dos corpos de prova contendo água produzida. A Figura 2 mostra as superfícies de resposta em função das variáveis de processo: fator água/cimento e concentração de água produzida.

Figura 2: Mapeamento por superfície de resposta da resistência à compressão em função das variáveis: a) fator a/c versus concentração de água produzida (%)



$$Z = 281,72 + 1043,45 * x - 898,50 * x^2 + 39,49 * y - 1,28 * y^2 - 34,42 * x * y + 4,321 * x^2 * y^2 + 112,75 * x^2 * y - 3,59 * x^2 * y^2$$

Fonte: Autor

De acordo com a Figura 2, fica constatado que a região dentro do intervalo de parâmetros avaliados para obtenção de maiores valores de resistência à compressão (aproximadamente 20 Mpa) compreende exatamente a região de menores valores de fator A/C associado ao percentual de até 20% de AP (região

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

www.conepetro.com.br

vermelha). A equação polinomial obtida reflete o fato de que qualquer concentração de água produzida e fator A/C nessa região de análise será possível obter a variável resposta (Z = resistência à compressão).

4. CONCLUSÕES

Conforme os resultados obtidos, o fator água/cimento de 0,5 e 0,6 associado a 10 e 20% de água produzida, respectivamente, foram responsáveis por aumentar a resistência à compressão do concreto, com valores superiores ao de referência.

Em traços com valores de água produzida superiores a 20 % e fator A/C superior a 0,6, foi observado um decréscimo nos valores de resistência à compressão. A relação água/cimento representa um fator de grande influência quando se trata de penetração de íons cloreto no concreto. Conforme os resultados obtidos, ficou evidenciado que com o aumento de 30% de AP no concreto ocasionou uma redução nos valores de resistência à compressão (10 Mpa). Isso ocorreu em virtude da difusão dos íons cloretos em associação com desproporcionalidade dos íons Ca^{2+} no meio.

Outro ponto importante é que a água produzida é rica em íons Ca^{2+} e segundo a literatura, o produto resultante da hidratação do cimento apresenta uma relação de Ca^{2+}/Si^{2+} em torno 1,7 a 1,8 e que, por essa razão, uma desproporcionalidade desses compostos certamente irá interferir no calor de hidratação e nos íons disponíveis para a hidratação.

Definitivamente, dependendo do processo de tratamento da água produzida em campos de petróleo, esse passivo ambiental constitui um promissor potencial frente às tecnologias limpas para aplicação na construção civil. A utilização desse rejeito implicará em redução drástica dos níveis de poluição ambiental causado pelas indústrias.

5. REFERÊNCIAS

_____. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 9 p.

_____. **NBR NM 67: Concreto - Determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro: ABNT, 1998. 8 p.

_____. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009. P 6.

_____. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003. P 13.

_____. **NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro: ABNT, 2006. P 8.

_____. **NBR 9775: Agregado miúdo – Determinação de teor de umidade superficial por meio frasco de Chapman – Método de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 2012. P 3.

_____. **NBR 9939: Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio.** 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT 2011. P 3.

_____. **NBR NM 137: Argamassa e concreto – Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento portland.** 1 ed. Rio de Janeiro: CSM, 1997. 2-3 p.

JACINTO JUNIOR, A.; SAMPAIO, A.C.; SILVA, A.F.; CHRISTIANO, F.P.; FREIRE, N.O. PEREIRA JUNIOR, O.A. (2008) **Tratamento da água produzida do campo de fazenda belém (PETROBRAS, UN/RNCE) para remoção de sílica.** In: RIO OIL & GAS EXPO AND CONFERENCE, 2008, Rio de Janeiro, RJ. Proceedings... Rio de Janeiro [s.n.].

HABERT, C.A.; BORGES, C.P.; NOBREGA, R. **Processos de separação por membranas.** Rio de Janeiro: E-papers. 2006.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e tecnologia.** São Paulo: IBRACON, v. 1, 2011.

LOPES, A.N.M. **Avaliação Comparativa de Concretos com e sem sílica ativa para resistências entre 50 e 60 MPa.** Brasília, 1999. 170p. Dissertação – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.

MEDEIROS, M. H. F. **A corrosão de armaduras sob a ação de íons cloreto em relação à capacidade de proteção de alguns cimentos nacionais com adições pozolânicas.** Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e VII Congresso de Controle de Qualidade. Anais; Montevideo, 1999. v.1. p. 500-506.

MOTHÉ, Leonardo Paes. **Avaliação das condições ideais para a produção de metacaulinita através da análise da sua atividade pozolânica.** Dissertação de Mestrado. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2004.

MONTEIRO, S.N., SILVA, F.A.N., VIEIRA, C.M.F. **Microstructural Evaluation of a Clay Ceramic Incorporated with Petroleum Waste,** Applied Clay Science, v. 33, pp. 171-180, 2006.

MOTTA, A. R. R.; BORGES, C. P.; KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, K.P.; ARAUJO, P. M.; **Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão,** 2013, 15-26.

SOKOLOVI, R.M.S.; SEVIC, S. **Oily water treatment using a new steady-state fiber-bed coalescer.** Journal of Hazardous Materials, v. 162, n. 1, p. 410-415, 2009.

WESCHENFELDER, S.E., MELLO, A.C.C.; BORGES, J.C. CAMPOS. **Oilfield produced water treatment by ceramic membranes: Preliminary process cost estimation.** Desalination. v. 360, p. 81–86, 2015.