

Avaliação química e mineralógica de Resíduo de Polimento de Porcelanato para viabilidade de uso para execução de aterros compactados

Silvia Cristina Justo Fernandes Nobre de Araujo

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, silviacjfernandes@gmail.com

Carina Maia Lins Costa

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, cmlins@gmail.com

Rafael de Medeiros Paulino

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, rafaelmpaulino@gmail.com

RESUMO: A indústria de porcelanato polido está em expansão a nível global e, necessita lidar, simultaneamente, com o aumento de produção e a alta geração de resíduos durante o polimento. O Resíduo de Polimento de Porcelanato (RPP) é um resíduo em consistência de lama, composto por pó desprendido da peça cerâmica polida, por material abrasivo gasto e por água e costuma ser descartado ou a céu aberto ou para reaterro das jazidas de argila explorada, necessitando de destinação mais adequada. Este artigo apresenta análise química e mineralógica do RPP puro e em adição a um latossolo a fim de investigar a possibilidade de uso da mistura destes materiais para a compactação de aterros. As análises foram efetuadas mediante resultados de ensaios de fluorescência de raios-X (FRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV), além de resultados de granulometria conjunta e limites de Atterberg. O RPP utilizado nesta pesquisa foi coletado no município de Conde, na Paraíba. A mistura estudada foi preparada adicionando-se 10%, em massa de resíduo, em um latossolo amarelo. Os resultados dos ensaios realizados mostraram que o resíduo é um material fino, com granulometria inferior a 0,02 mm, enquanto o solo em estudo é uma areia argilosa. O RPP é um material medianamente plástico enquanto o solo puro é um material fracamente plástico. A análise de FRX permitiu identificar que o RPP é um material rico em argilominerais e que a quantidade reduzida de bases solúveis e sílica no solo permite sua classificação como latossolo. As imagens obtidas por MEV mostram que o Solo puro é composto por partículas com formato arredondado enquanto o RPP apresenta grande quantidade de partículas com formato irregular e angular. A mistura de 10% apresentou resultados intermediários entre o solo e o resíduo puro e a avaliação global mostra uma expectativa de aumento da capacidade de carga, em relação ao solo puro, pois o resíduo pode provocar o surgimento de reação pozolânica, possui partículas com diâmetro equivalente a silte capazes de complementar a granulometria do solo, e o formato angular das partículas podem provocar o aumento da resistência do conjunto.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo de polimento de porcelanato, Aterros compactados, Resíduo industrial.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor industrial dinâmico, conhecido por seu processo executivo não se dar de forma linear, como em uma

fábrica convencional, mas por todas as obras terem sempre uma configuração espacial e produtiva diferente. Ademais, o setor é um enorme absorvedor de insumos de todos os tipos de materiais, consumindo até 50% de

todos os recursos minerais explorados no planeta (Carvalho, 2013), sendo os materiais cerâmicos um dos que possuem aplicações mais versáteis, pois compõem louças sanitárias, telhas, tubulações e pisos.

Nas últimas duas décadas, os porcelanatos polidos se destacaram como o produto cerâmico de revestimento com o maior crescimento de vendas a nível global (Rambaldi, 2007), impulsionado principalmente por seu alto padrão de acabamento, baixa absorção de água, baixa porosidade, alta dureza, alta resistência ao ataque químico, resistência ao congelamento, resistência à compressão, isolamento a descargas elétricas estáticas e aparência semelhante a pedras naturais (Heck, 1996; Silva, 2005; Souza, 2007; Kummer et al., 2007). Tal mercado tem como principais mercados produtores a China, o Brasil e a Índia, respectivamente (ANFACER, 2015). O Nordeste brasileiro, na última década, expandiu sua produção de pequenas olarias para grandes indústrias e pode tornar-se um pólo em futuro próximo, principalmente devido às condições propícias de matéria-prima, energia viável, mercado consumidor em desenvolvimento e localização geográfica favorável à exportação (ANICER, 2015; ANFACER, 2015).

A alta produção industrial, porém, tem como principal revés a alta geração de resíduo, especialmente o resíduo oriundo da etapa de polimento, pois é o que corresponde à maior porcentagem de perdas de material cerâmico. Cada peça cerâmica, após o polimento, perde cerca de 5 mm de sua superfície. O Resíduo de Polimento de Porcelanato (RPP) é o subproduto da etapa de polimento de peças cerâmicas, sendo constituído por uma lama composta pelo material pulverulento da cerâmica desbastada, do material abrasivo gasto pelo polimento e água de resfriamento e lavagem.

Este trabalho tem como objetivo analisar química e mineralogicamente o RPP, um latossolo e uma mistura de 10% de adição em massa de RPP seco ao solo seco, de modo a entender o comportamento possível dos materiais quando utilizados em aterros compactados. Os ensaios realizados foram: granulometria conjunta, limites de Atterberg, fluorescência de raios-X (FRX) e microscopia

eletrônica de varredura (MEV).

Entende-se que o uso do RPP como componente da mistura de material na compactação de aterros apresenta-se como um destino adequado a este subproduto, uma vez que não requer qualquer tratamento adicional do resíduo para sua utilização, como ajuste granulométrico ou tratamento térmico. O beneficiamento do resíduo geraria aumento de gastos na produção e, por isso, seu consumo in natura mostra-se mais adequado.

Tendo em vista o exposto e visando um possível emprego do RPP como material em aterros compactados, este trabalho apresenta um estudo mineralógico e químico que podem ser utilizados como ferramentas auxiliares para o engenheiro geotécnico prever possíveis comportamentos mecânicos dos materiais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Resíduo de Polimento de Porcelanato (RPP)

O RPP utilizado neste estudo foi coletado em uma indústria de porcelanato polido localizada no município de Conde-PB. É uma fábrica em expansão, com produção atual diária, em 2015, de 15.000 m² de peças prontas para comercialização. Devido à intensa atividade, o volume gerado de resíduos do polimento também é significativo e varia entre 30 e 35 toneladas de lama por dia, segundo informações da própria fábrica.

O material cerâmico que compõe o porcelanato é uma mistura de argilas, feldspatos, quartzo e, às vezes, caulins. O material abrasivo é composto apenas por carbetto de silício aglomerado, em geral, com cimento à base de cloreto magnésiano, de modo a proporcionar alta qualidade de abrasão sem desprendimento elevado de partículas (Breitenbach, 2013).

2.2 Solo Utilizado

O solo utilizado nesta pesquisa é oriundo de área rural do município de São José de Mipibu, região metropolitana de Natal – RN. Apresenta

semelhança com jazidas localizadas em Conde-PB, próximas à fábrica de porcelanato e já foi utilizada como material para execução de aterros rodoviários.

Trata-se de um latossolo característico de solos de regiões tropicais e úmidas, onde o intemperismo é mais intenso. Na região em estudo, os latossolos amarelos normalmente se formam de sedimentos do Grupo Barreiras.

2.3 Metodologia

Todos os ensaios foram realizados utilizando-se os materiais puros, isto é, Solo e RPP, bem como uma mistura de 10% de adição de RPP ao solo. Tal mistura foi selecionada por haver indicações na literatura de que esta proporção seria adequada para uso em solos (Araujo e Costa, 2015). Para tanto, todos os materiais foram destorroados e secos ao ar e, posteriormente, foi executada a mistura.

A análise granulométrica conjunta foi realizada de acordo com os procedimentos da NBR 7181 (ABNT, 1984). A sedimentação do RPP puro foi executada com dispersão apenas em água destilada, pois houve aglutinação das partículas do RPP quando em presença de hexametáfosfato de sódio, de modo que se acredita que o RPP tenha sofrido interações químicas com o composto. Ademais, resultados apresentados na literatura também utilizaram água destilada como meio dispersor (Silva, 2012 e Breitenbach, 2013).

O ensaio de limite de liquidez (LL) foi executado segundo a NBR 6459 (ABNT, 1984) e o ensaio de limite de plasticidade (LP) foi executado de acordo com a NBR 7180 (ABNT, 1984).

O ensaio de FRX foi executado para conhecimento dos óxidos e suas porcentagens, em equipamento Shimadzu EDX-720.

A Microscopia eletrônica de varredura foi realizada em equipamento Hitachi TM3000.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 mostra a curva granulométrica de todos os materiais estudados. Nela, é possível perceber que o solo puro é um material com

maior teor de areia, cuja classificação unificada é SC (areia argilosa). Por outro lado, o RPP puro é um material extremamente fino, compatível com seu processo de geração, isto é, pela formação de pó através do polimento. Todo o material apresenta granulometria inferior a 0,02 mm, o que é compatível com a literatura (Souza, 2007; Breitenbach, 2013).

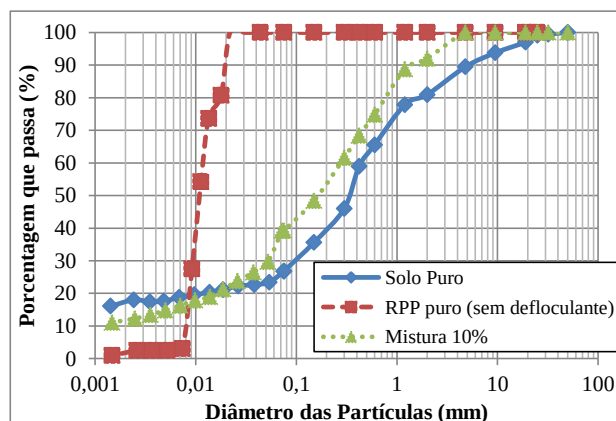


Figura 1. Curva granulométrica do Solo Puro, do RPP puro (sem o uso de defloculante) e da Mistura de 10%.

A mistura de 10% mostrou reduzida variação, na curva granulométrica, em relação ao solo puro, pela inserção do resíduo, tendo-se aumentado o teor de finos, pelo deslocamento da curva para a esquerda. A classificação unificada deste material se mostrou SM-SC (areia silto argilosa), sendo essa fração “siltosa”, que era reduzida no solo puro, proveniente do preenchimento por partículas de resíduo. A inserção do RPP ao solo permitiu uma melhor distribuição das frações arenosa, siltosa e argilosa, gerando uma expectativa de obtenção de materiais mais compactados no caso das misturas em relação ao solo puro. Ressalta-se, porém, que a distribuição granulométrica é apenas um dos fatores associados ao resultado da compactação de um solo.

A Tabela 1 sumariza os dados referentes aos ensaios dos limites de Atterberg e o índice de plasticidade (IP). É possível perceber coerência entre a granulometria do solo e do resíduo e os resultados de plasticidade. O material mais fino (RPP) se mostrou medianamente plástico, enquanto o solo se mostrou fracamente plástico.

A mistura apresentou menor IP que o solo puro. Esse resultado pode ser justificado pela

variabilidade do material especialmente considerando que a quantidade de resíduo adicionada não é expressiva para provocar grandes variações nos valores de LL e LP da mistura em relação ao solo puro.

Tabela 1. Valores de LL, LP e IP.

	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo Puro	26,7	17,7	8,9
Mistura 10%	24,5	17,1	7,5
RPP puro	38,5	27,4	11,1

A Tabela 2 mostra as porcentagens de óxidos obtidos na análise de FRX.

Tabela 2. Porcentagem de óxidos dos materiais. Os fundentes correspondem aos óxidos de magnésio, potássio, manganês, sódio e cálcio.

Óxidos (%)	Solo Puro	Mist. 10%	RPP puro
SiO ₂	38,12	43,61	62,57
Fe ₂ O ₃	29,19	26,39	5,53
Al ₂ O ₃	28,15	22,39	18,71
Fundentes	2,34	5,19	11,31
Outros	2,20	2,42	1,88

A análise dos dados obtidos no ensaio de FRX mostrou que o solo puro tem teores de óxidos característicos de latossolos, pois valores elevados de óxidos de ferro e alumínio são indicadores de que o solo sofreu certa evolução através da laterização (intemperismo), de modo que as bases solúveis, como cálcio, magnésio, sódio e potássio foram rapidamente lixiviadas, resultando em baixas porcentagens. A sílica também tende a ser liberada em solos em evolução e, portanto, pode-se perceber que sua porcentagem é inferior no solo puro, em comparação, por exemplo, com o resíduo, que contém material cerâmico (argila natural) em sua composição. Pelo processo de laterização, há uma tendência à fixação de alumina no solo, uma vez que este é um elemento pesado, dificilmente carregável. Quando a drenagem do local é satisfatória, há intensa lixiviação do material e fixação também do ferro.

Valores elevados de sesquióxidos (óxido de ferro e alumina), como os observados na Tabela 2, favorecem a presença de cimentação natural no solo quando sob ciclo de umedecimento e secagem, o que pode ser um aspecto favorável para o uso deste tipo de solo como material para aterro compactado.

Os teores de sílica e alumina obtidos para o RPP foram compatíveis com os obtidos por outros autores referenciados neste trabalho e são fortes indicadores de que grande parte do RPP é formada por restos da peça cerâmica, que contém argila e, portanto, altos teores de sílica e alumina, em sua composição. Parte dessa sílica também pode ser proveniente do quartzo utilizado na estabilização do produto. A quantidade de fundentes no RPP se mostrou compatível com a literatura. Tais óxidos são responsáveis por proporcionar maior densificação da peça cerâmica a menores temperaturas de queima, por formar fase vítrea onde ficam imersas as fases cristalinas.

Quando a temperatura de queima das peças cerâmicas é inferior à temperatura de fusão da argila (como ocorre quando há fundentes na composição), é possível formar pozolanas artificiais. Pozolanas são substâncias constituídas de sílica e alumina que, quando em reação com hidróxido de cálcio (isto é, óxido de cálcio, presente nos fundentes, e água), por meio da presença de água, formam compostos estáveis e com propriedades aglomerantes (Leite e Molin, 2002). Os materiais argilosos, antes de atingirem a temperatura de fusão, têm a porosidade aumentada e sua superfície ativada, formando a sílica ativa. A atividade pozolânica do RPP pôde ser percebida pela formação de torrões do material durante os ensaios e pode ser um fator que auxilie no ganho de resistência com o tempo da amostra compactada em umidade ótima.

A mistura de 10% apresentou valores intermediários e possivelmente pode ser favorecida em ganho de capacidade de carga de aterros por dois fatores principais relacionados à presença do resíduo: i) como visto pela granulometria, o arranjo das partículas tende a ser mais bem distribuído do que o solo puro; e ii) a presença de RPP pode permitir o aumento da resistência com o tempo pela atividade pozolânica da sílica ativa com o hidróxido de cálcio, em presença de água.

A Figura 2 mostra as imagens de MEV dos materiais com aproximação de 150x, para fins de caracterização da superfície dos materiais, bem como da distribuição das partículas.

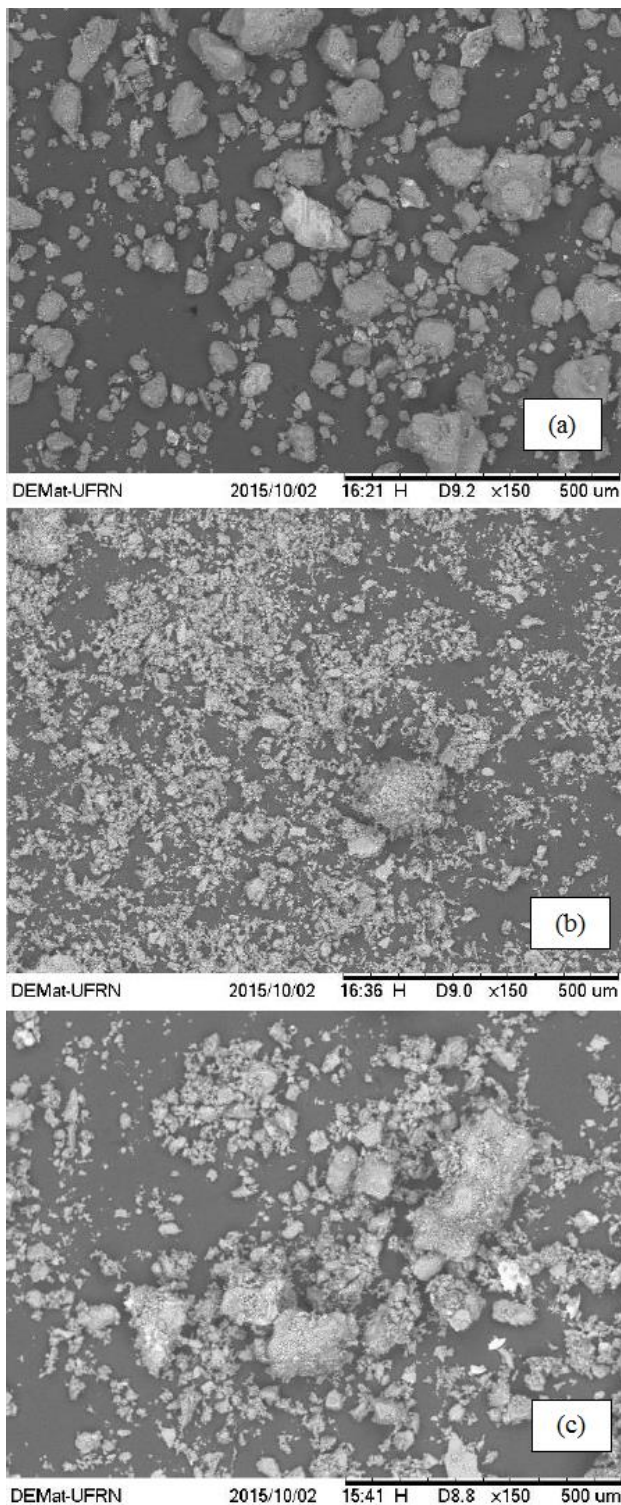


Figura 2. Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura, aproximadas em 150x, dos materiais: (a) Solo Puro; (b) RPP puro; (c) Mistura de 10%.

Percebe-se que o RPP puro é o material com a maior quantidade de finos e que eles se apresentam com partículas angulares. Um pequeno torrão mostrado na Figura 2.b mostra, no entanto, que quando o RPP está aglutinado, forma um material com aspecto mais arredondado. Desse modo, entende-se que a

formação de torrões pode não favorecer o aumento da resistência à compressão dos aterros, pois pode ser capaz de diminuir o ângulo de atrito do material.

O Solo puro, em contrapartida, apresenta partículas maiores e mais arredondadas, mas que, com a mistura de RPP (Figura 2.c), tem uma granulometria mais bem distribuída, sendo possível identificar partículas mais grossas e partículas mais finas em quantidades proporcionais. É possível que a mistura de solo e RPP a pequenos teores, como é o caso da adição de 10% de RPP à massa de solo, possa auxiliar na redução da formação de torrões do RPP.

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho estudou aspectos químicos e mineralógicos de Resíduo de Polimento de Porcelanato, latossolo e mistura de 10% de adição de resíduo em massa de solo, a fim de prever aspectos geotécnicos dos materiais para a execução de aterros compactados. A partir das análises, pode-se concluir que:

- O resíduo é um material mais fino do que o Solo puro e permitiu uma melhor distribuição granulométrica da mistura de 10%, por equilibrar as frações arenosas, siltosas e argilosas;
- O resíduo é um material com maior plasticidade do que o solo, mas tem a trabalhabilidade reduzida pelo contato com a água ao formar torrões;
- Os torrões do resíduo podem ser, simultaneamente, favoráveis ao aumento da resistência à compressão por ser dificilmente desfeitos, e desfavoráveis por reduzir a angularidade das partículas (possivelmente reduzindo o ângulo de atrito);
- Os teores elevados de óxidos de alumínio e ferro no solo, bem como os baixos teores de sílica e bases (fundentes) são característicos de latossolos e podem provocar aumento da resistência à compressão com o tempo, pela cimentação natural dos sesquióxidos com a água;

- Os teores elevados de sílica no RPP, bem como a ação dos fundentes no processo de fabricação podem favorecer o aumento da resistência à compressão do aterro com o tempo, pela ação pozolânica da sílica ativa com o óxido de cálcio, em presença de água.

De modo geral, pode-se dizer que a presença de RPP provocou pouca alteração química na mistura, em comparação com o solo puro. A partir das análises realizadas neste trabalho, acrescidas aos aspectos ambientais envolvidos, pode-se identificar que o uso de 10% de RPP no solo apresenta tendência à reduzida variação de comportamento geotécnico e perspectivas de aumento da resistência à compressão da mistura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pelo apoio financeiro à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres. Setor de cerâmica. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/#!setor/c1v8u>>. Acesso em: 12 jan. 2015.
- ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica. História da cerâmica. Disponível em: <<http://portal.anicer.com.br/historia/>>. Acesso em: 12 jan. 2015.
- ARAUJO, S. C. J. F. N.; COSTA, C. M. L. (2015) Avaliação do emprego de misturas de solo e resíduo de polimento de porcelanato para pavimentação, In: *XV Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Buenos Aires, Argentina, 8 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984) NBR 6459: Solo – determinação do limite de liquidez, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984) NBR 7180: Solo – determinação do limite de plasticidade, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984) NBR 7181: Solo – análise granulométrica, Rio de Janeiro.
- BREITENBACH, S. B. (2013) *Desenvolvimento de argamassa para restauração utilizando resíduo do polimento do porcelanato*, Tese de Doutorado, Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 180 p.
- CARVALHO, E. V. (2013) *Utilização do resíduo da retífica de cerâmica de revestimento na produção de concreto para pavimento intertravado*, Dissertação de Mestrado, Tecnologia e Inovação, Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, 161 p.
- HECK, C. (1996) Gres porcelanato, *Cerâmica Industrial*, Vol. 1, n. 4/5, p. 21-24.
- KUMMER, L.; BASSETTI, F. J.; RIELLA, H. G.; AZEVEDO, J. C. R. (2007) Reutilização dos resíduos de polimento de porcelanato e feldspato na fabricação de novo produto cerâmico, *Cerâmica Industrial*, Vol. 12, n. 3, p. 34-38.
- RAMBALDI, E.; ESPOSITO, L.; TUCCI, A.; TIMELLINI, G. (2007) Recycling of polishing porcelain stoneware residues in ceramic tiles, *Journal of the European Ceramic Society*, n. 27, p. 3509-3515.
- SILVA, G. J. B. (2005) *Estudo do comportamento do concreto de cimento Portland produzido com a adição do resíduo de polimento de porcelanato*, Dissertação de Mestrado, Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, 107 p.
- SILVA, M. G. (2012) *Avaliação da incorporação combinada dos resíduos de cascalho de perfuração de poço petrolífero e de polimento do porcelanato em cerâmica vermelha*, Tese de Doutorado, Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 158 p.
- SOUZA, P. A. B. F. (2007) *Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato*, Tese de Doutorado, Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 232 p.