

Avaliação do Índice de Suporte Califórnia de Misturas de Solo e Resíduo de Polimento de Porcelanato

SILVA, Filipe Bruno dos Santos

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, filipe_bruno91@hotmail.com

COSTA, Carina Maia Lins

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

MEDEIROS, Guilherme Adler Aciole

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

RESUMO: A etapa de polimento na produção do porcelanato em indústrias cerâmicas gera grandes quantidades de um resíduo composto por restos de peças cerâmicas, água e resquícios de discos abrasivos utilizados na etapa de polimento, resultando em um pó branco de granulometria fina e composição química variável. Com a popularização do porcelanato na construção civil, vem havendo um aumento da sua produção, consequentemente, gerando uma maior demanda de alternativas de destinação do RPP para as indústrias cerâmicas. Neste trabalho pretende-se avaliar uma possibilidade de destino adequado para o material, preocupando-se com a questão ambiental de acúmulo de resíduos, incorporando-o em um solo com propósito para execução de aterros rodoviários. No presente estudo, foram utilizadas diferentes dosagens de resíduo, especificamente, 0% (Solo Puro) 5%, 10%, 15%, 20% e 40% em relação à massa seca de solo. Além da caracterização de solo e resíduo, são apresentados ensaios de compactação e ISC (Índice de Suporte Califórnia) com o solo e com as misturas de forma a observar a influência do resíduo perante as características mecânicas do solo puro. A avaliação do índice de suporte Califórnia do solo e das misturas foi feita empregando-se energias de compactação normal. Os resultados mostraram um aumento na umidade ótima das misturas em relação ao solo puro. Os ensaios mostraram ainda que a presença do resíduo não reduz significativamente, do ponto de vista prático, à resistência do material em comparação à resistência do solo puro, ocorrendo inclusive aumento de resistência para algumas amostras. Dentre as misturas avaliadas, a mistura com 5% de resíduo mostrou a maior resistência. Em geral, os resultados ratificam o potencial de aplicação do resíduo em obras rodoviárias.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo de Polimento de Porcelanato, Índice de Suporte Califórnia, Aterros Rodoviários.

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente necessidade de geração de infraestrutura à sociedade, a indústria da construção civil tem intensificado suas atividades, resultando em um aumento no consumo de materiais de construção e, consequentemente, dos recursos naturais. De acordo com Carvalho (2013), o setor da construção civil é responsável pelo consumo de

cerca de 50% de todos os recursos minerais explorados no planeta. Decorrente desse processo, um dos temas em pauta na área da construção civil tem sido a destinação dos resíduos produzidos pela sua indústria. Essa situação é particularmente desafiadora para a indústria cerâmica, que consome grande quantidade de matéria-prima, em consequência, enorme quantidade de rejeitos também é gerada.

O Resíduo de Polimento de Porcelanato

(RPP) é um material resultado da última etapa da fabricação do porcelanato polido, sendo essa a fase de acabamento do material. Trata-se de um resíduo constituído pelo próprio material cerâmico debastado na etapa de polimento, resquícios do material abrasivo utilizado para polir e água de resfriamento do processo, gerando uma lama, que seca ao ar transforma-se em um pó branco, geralmente alocados em pátios a espera de um destino.

Segundo a Anfacer (2012), o Brasil figura como o segundo maior produtor de revestimento cerâmico do mundo, ficando atrás apenas do grande mercado da China. Dentre esses revestimentos encontra-se o porcelanato polido, que vem se destacando ultimamente no mercado nacional. Em 1996, apenas uma empresa produzia esse tipo de porcelanato no Brasil e, atualmente, várias empresas o produzem, chegando a uma produção de 42 milhões de metros quadrados em 2009 (Cabral Junior *et al.* 2010).

Com a crescente demanda da utilização do revestimento porcelanato polido, a produção deste material vem tendo um aumento significativo, porém em contrapartida a esse crescimento, o cuidado e o estudo da destinação dos resíduos gerados pelo processo não acompanharam o mesmo ritmo. Estima-se que sejam produzidas entre 30 e 35 toneladas de resíduo de porcelanato diariamente, apenas no Brasil (Souza, 2007).

Dentre as inúmeras vantagens do reaproveitamento dos resíduos industriais, pode-se citar a diminuição do volume de resíduos enviados para aterros industriais, diminuindo assim, os custos com destinação e transporte, a economia de energia e recursos naturais, além da melhoria da imagem da empresa frente ao mercado consumidor (Costa, 2010).

Após a produção do RPP se tornar vultosa, a importância de se dar uma destinação e conhecer as propriedades do material se mostraram necessárias, sendo sua composição estudada por diversos autores (Silva, 2005; Bernardin, 2006; Rambaldi, 2007; Marques *et al.*, 2007; Silva, 2012). A abordagem inicial foi reutilizar o resíduo no próprio processo de produção de porcelanato. Contudo, ao ser

estudado, foi observado que o material apresenta componentes químicos que, se utilizados novamente na fabricação, formam uma porosidade intrínseca e indesejada, ocasionando uma expansão inadequada do material, se tornando difícil sua utilização no caso de produtos densos como o porcelanato.

Posteriormente, a possibilidade de utilização do resíduo começou a ser estudada em aplicações na indústria cimentícia, o que apresentou resultados extremamente favoráveis. Pelisser *et al.* (2012) estudaram a eficiência do resíduo em adição ao cimento Portland. O autor relata que a mistura contendo o resíduo aumentou a resistência do concreto em até 50% em relação à resistência após 56 dias.

Outros autores analisaram a ação da atividade pozolânica do resíduo em misturas com cimento (Silva, 2005; Steiner *et al.*, 2015; Jacoby e Pelisser, 2015). Nesses estudos houve um aumento de resistência com a presença de RPP, alguns autores indicaram um teor ideal de resíduo correspondente a 10% de resíduo em relação à massa do cimento.

Apesar dos recentes estudos quando a reciclagem do RPP, a maioria tem como finalidade a adição do mesmo na massa cerâmica ou de cimento, porém novas alternativas de destino se justificam, considerando a quantidade de resíduo que é produzida diariamente. Portanto entende-se que a aplicação desse resíduo na área de solos seria de grande interesse, visto que obras com aterros movimentam grandes quantidades de material.

Estudos toxicológicos indicam que o material é próprio pra uso, havendo ressalvas apenas para utilização do material puro (Costa, 2010).

2 METODOLOGIA

O solo utilizado nessa pesquisa é procedente da área rural de São José do Mipibu, região metropolitana de Natal - RN. A jazida em questão tem sido explorada com finalidade para aterros rodoviários na região e trata-se de um latossolo, comum na região. A escolha desse solo ocorreu por sua similaridade com jazidas

localizadas na região de Conde-PB, local onde é produzido o RPP.

As curvas granulométricas do solo e do resíduo utilizados são apresentadas na Figura 1. Trata-se de uma areia argilosa, sendo classificada com “SC” no Sistema Unificado de Classificação (SUCS). Pela classificação rodoviária, o solo é definido como grupo A-2 e subgrupo A-2-4, com índice de grupo igual a zero.

O resíduo utilizado na pesquisa foi coletado em uma fábrica produtora de revestimento localizada em Conde-PB.

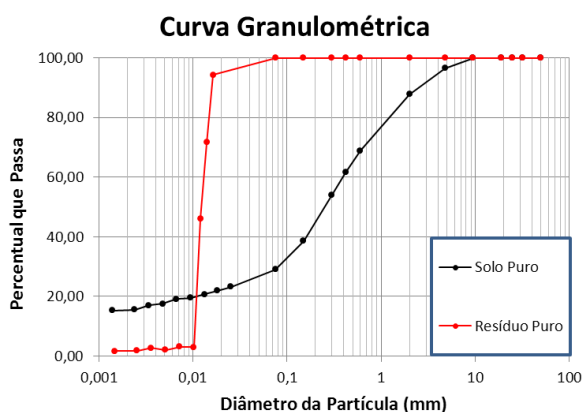


Figura 1. Curvas granulométricas do solo puro e resíduo.

Ressalta-se que por ser um resíduo, o mesmo não necessariamente terá o comportamento de um solo, logo se observa que ele possui grande fração na faixa de Silte, porém não se deve afirmar, a princípio que o resíduo terá o comportamento característico de silte.

A Tabela 1 apresenta resultados de massa específica dos grãos e limites de Atterberg dos materiais, assim como Índice de Plasticidade.

Tabela 1. Tabela com valores de caracterização dos materiais.

Material	Massa Específica dos grãos (g/cm³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo	2,60	26,7	17,7	8,9
Resíduo (RPP)	2,538	38,5	27,4	11,1

Quanto a sua composição, análises Fluorescência de Raios X para o solo sugerem uma composição característica de um latossolo

em formação. Já o resíduo apresenta elementos provenientes da massa cerâmica que foi utilizada para sua formação, assim como o cimento e restos do material abrasivo da etapa de polimento. A Tabela 2 apresenta os principais componentes do solo e do resíduo.

Tabela 2. Tabela com percentagem de elementos que compõe os materiais.

Composto	Solo Puro (%)	Resíduo (%)
SiO ₂	38,12	62,57
Fe ₂ O ₃	29,19	5,53
Al ₂ O ₃	28,15	18,71
K ₂ O	0,10	6,42
Outros	4,44	6,77

Para este trabalho, foram realizadas cinco misturas de resíduo de polimento de porcelanato com o solo proposto, além da amostra de referência, que seria o próprio solo puro. As seguintes proporções de resíduo (X) foram adotadas: X = 0%; X = 5%; X = 10%; X = 15%; X = 20% e X = 40%. Esses valores foram determinados baseados em estudos da literatura que mostram que valores superiores a esses acabam por afetar demais as características do solo.

As misturas foram realizadas por meio de adição de resíduo em relação à massa seca do solo, conforme indicado na Equação 1. Os materiais estudados serão doravante designados como: SP (solo puro), M5 (mistura com adição de 5% de RPP), M10, M15, M20 e M40 de forma análoga a M5.

$$X\% = \frac{m_{sRPP}}{m_{sSolo}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

X% é a porcentagem de resíduo a ser adicionada ao solo, m_{sRPP} é a massa seca do RPP e m_{sSolo} a massa seca do solo.

Nos ensaios de compactação e Índice de Suporte California, utilizou-se energia de compactação tipo Proctor Normal, seguindo os procedimentos da ABNT NBR 7182. Para o

ensaio de ISC, os corpos de prova foram inundados durante quatro dias, observando a sua expansão durante o período, seguindo as recomendações da norma ABNT NBR 9895.

Com objetivo de avaliar os efeitos de variabilidade nos resultados do ISC, foram realizados ensaios repetidos. Para uma mesma condição, três corpos de prova foram testados.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

A Figura 2 mostra os resultados do ensaio de compactação e a Tabela 3 apresenta um resumo dos resultados.

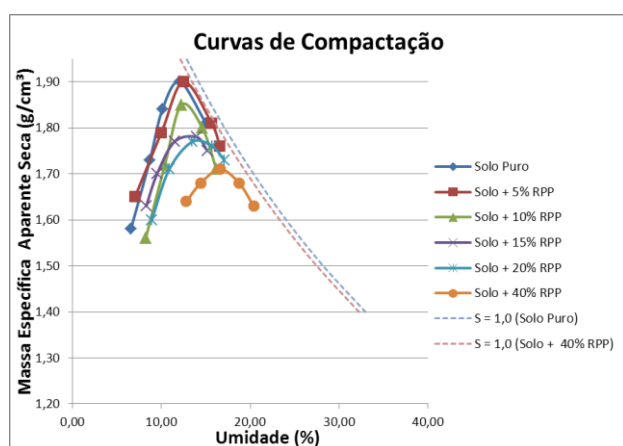


Figura 2. Curvas de compactação para diferentes teores de resíduo.

Tabela 3. Resumo dos valores do ensaio de compactação.

Amostra	$\rho_{dm\acute{a}x}$ (g/cm ³)	Wót (%)
SP	1,90	11,95
M5	1,90	12,45
M10	1,86	12,60
M15	1,78	13,40
M20	1,77	14,56
M40	1,71	16,60

As curvas apresentadas anteriormente mostram que para maiores porcentagens de resíduo na mistura, maior a umidade ótima e menor a massa específica seca máxima da amostra, além da ocorrência de um abatimento no formato da curva. Esses comportamentos são justificáveis pelo fato do resíduo apresentar um teor de fino alto, aumentando assim o teor de fino das misturas com sua adição.

Observa-se que a partir de 15% de resíduo, os valores começam a alterar de forma mais significativa em relação ao solo puro, sugerindo a ocorrência de mudanças mais relevantes a partir desse teor.

A Tabela 4 mostra um resumo do ensaio de expansão. A medida que o teor de resíduo aumenta, nota-se um maior valor de expansão volumétrica na presença de água, saindo de um valor médio de 0,12% para o SP para 0,40% da M40. Porém, apesar desse crescimento da expansão com o aumento do teor de resíduo, todos os valores obtidos estão abaixo dos valores máximos de expansão recomendados pelo DNIT (2006). Isto é, abaixo de 0,5% para material de base, ou 1% para sub-base e reforço de subleito.

Tabela 4. Resumo dos valores do ensaio de expansão total das amostras.

Amostra	Expansão (%)
SP	0,12
M5	0,19
M10	0,19
M15	0,25
M20	0,29
M40	0,40

A Tabela 5 apresenta os valores obtidos a partir do ensaio de suporte califórnia em valores médios (média dos 3 corpos de prova ensaiados para cada condição). Como se pode observar, houve uma redução no valor do ISC com a adição de resíduo.

A Figura 3 mostra o comportamento de todos os corpos de prova ensaiados. Pode-se observar a existência de variabilidade dos resultados que é maior para as misturas do que no caso do solo puro. A necessidade de consideração da variabilidade do resíduo nos resultados de ensaios com misturas de solo e RPP já havia sido identificada por Araújo (2016). Embora tenha sido encontrado um maior valor de resistência para um dos corpos de prova da mistura M5, percebe-se uma tendência de diminuição do valor de ISC com o aumento do teor de resíduo. Esse aspecto pode ser compreendido com maior clareza mediante observação da Figura 5 que apresenta os valores

de ISC das misturas normalizados pelo valor de ISC do solo puro para valores diferentes de teor de resíduo.

Tabela 5. Resumo dos valores do ensaio de ISC médios.

Amostra	ISC (%)
SP	8,06
M5	7,29
M10	6,85
M15	6,67
M20	6,13
M40	5,24

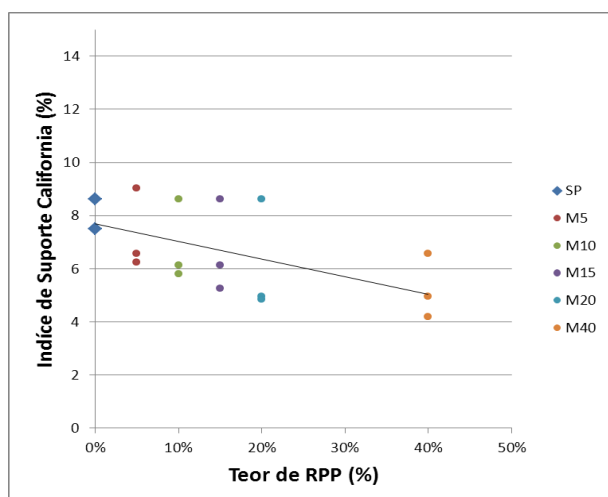


Figura 3. Valores de ISC para todos os corpos de prova analisados.

A Figura 4 mostra que a mistura com 5% de RPP (mistura M5) apresentou o maior valor médio nas amostras com presença de resíduo. No caso de adição de 20% de resíduo (mistura M20), o material apresentou 80% da resistência do solo puro (perda de 20% de resistência). Para 40% de resíduo, a mistura mostrou uma resistência aproximadamente igual a 60% da resistência do solo puro (perda de 40%). Ou seja, em termos de valores médios, o valor do teor de resíduo corresponde a expectativa de diminuição da resistência do material em relação ao solo puro. Apesar da diminuição, os valores obtidos não apresentam diferenças muito significativas nos valores de ISC do ponto de vista prático. Considerando o aspecto do benefício ambiental de reutilização do resíduo, todas as misturas poderiam substituir o solo puro em aterros rodoviários, já que

apresentaram ISC superior a 2% e baixa expansão. As misturas com teores mais baixos de resíduo (M5 a M10) apresentam ainda maior possibilidade de utilização como reforço de subleito. Essa afirmação baseia-se no fato da menor redução de resistência das misturas M5 e M10 e do comportamento mostrado por essas misturas nos ensaios de compactação (que apresentaram alterações menos significativas em relação ao comportamento do solo).

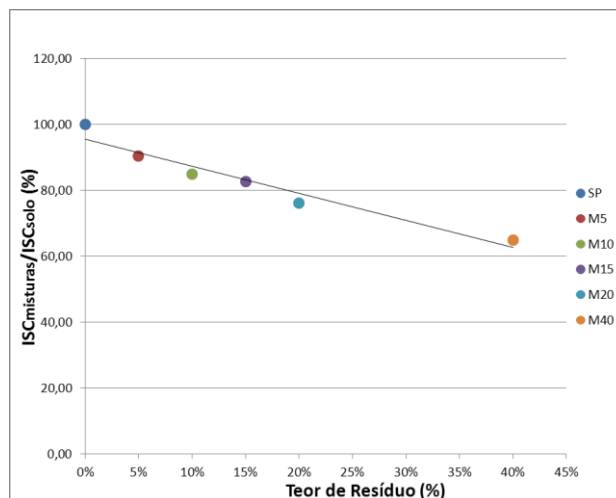


Figura 4. Valores de ISC das misturas em relação ao ISC do solo para diferentes valores de teor de resíduo

4 CONCLUSÕES

Os ensaios de compactação realizados com as misturas mostraram que há uma tendência de aumento de teor de umidade ótima com a maior presença de resíduo, assim como uma diminuição na massa específica seca máxima. Esse comportamento é consistente com o aumento do teor de finos a medida que uma maior quantidade de resíduo é incorporada nas misturas.

Ao analisar a expansão volumétrica dos materiais em presença de água, o aumento de teor de resíduo mostra um aumento no valor da expansão. Porém todas as amostras respeitam os limites para utilização em obras rodoviárias.

Os ensaios de Índice de Suporte Califórnia mostram que as amostras com resíduo tendem a ter uma variabilidade maior de resultados. Nota-se que a mistura M5 apresenta o melhor comportamento mecânico entre as misturas, alterando pouco as características do solo puro.

De modo geral, podemos dizer que a partir da adição de 15% de resíduo ocorrem as mudanças mais relevantes comparadas ao solo puro. Em termos de valores médios, percebe-se uma tendência de diminuição do valor de ISC com o aumento do teor de resíduo. Considerando o aspecto do benefício ambiental de reutilização do resíduo, todas as misturas poderiam substituir o solo puro em aterros rodoviários, já que apresentaram ISC superior a 2%.

Por fim ressalta-se que este trabalho visa viabilizar a utilização do resíduo em obras rodoviárias, como uma alternativa de destinação para o resíduo. Porém o comportamento geotécnico não é o único fator determinante. É importante ainda que o resíduo seja analisado mediante estudos de caráter ambiental a fim de evitar qualquer tipo de dano ao meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para a presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABNT, NBR-7182 (1986). *Solo – Ensaio de Compactação, Método de Ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil, 10 p.
- ABNT, NBR-9895 (1987). *Solo – Índice de Suporte Califórnia, Método de Ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil, 14 p.
- Anfacer (2012). *Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para revestimentos*, São Paulo - SP, Brasil. Disponível em: <http://www.anfacer.org.br> e acessado em 10/03/2015.
- Araujo, S.C.J.F.N. (2016). *Análise de Microestrutura e Características Geotécnicas de Misturas de Resíduo de Polimento de Porcelanato e Solo*. Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 101 p.
- Bernardin, A.M.; Silva. M.J. e Riella, H.G. (2006). *Characterization of Cellular Ceramics Made by Porcelain Tile Residues*. Materials Science and Engineering, vol. 437, nº 2, p. 222-225.
- Cabral Junior, M.; Boschi. A.O.; Motta, J.F.M.; Tanno, L.C.; Sintoni, A.; Coelho, J.M. e Caridade, M. (2010). *Panorama e Perspectivas da Indústria de Revestimentos Cerâmicos no Brasil*. Cerâmica Industrial, vol. 15, nº 3, p. 7-18.
- Carvalho, E.V. (2013). *Utilização do Resíduo da Retífica de Cerâmica de Revestimento na Produção de Concreto para Pavimento Intertravado*. Dissertação de mestrado em Tecnologia e Inovação, Universidade Estadual de Campinas. 161 p.
- Costa, C.H. (2010). *Estudo Toxicológico para Valorização do Resíduo Produzido no Processo de Polimento de Piso Porcelanato na Indústria Cerâmica*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 153 p.
- DNIT (2006). *Manual de Pavimentação*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, vol. 3, Rio de Janeiro, Brasil, 274 p.
- Jacoby, P.C. e Pelisser F. (2015). *Pozzolanitic Effect of Porcelain Polishing Residue in Portland Cement*. Journal of Cleaner Production, v. 100, p. 84-88.
- Marques, L.N.; Menezes, R.R.; Neves, G.A.; Santana, L.N.L; Lira, H.L. e Ferreira, H.C. (2007). *Reaproveitamento do Resíduo de Porcelanato para Utilização em Massa Cerâmica*. Revista Eletrônica de Materiais, v. 2.2, p. 34-42.
- Pelisser, F.; Steiner, L.R. e Bernardin, A.M. (2012). *Recycling of Porcelain Tile Polishing Residue in Portland Cement: Hydration Efficiency*. Environmental Science & Technology, v.46, p. 2368-2374.
- Rambaldi, E.; Esposito, L.; Tucci, A. e Timellini, G. (2007). *Recycling of Polishing Porcelain Stoneware Residues in Ceramic Tiles*. Journal of the European Ceramic Society, v. 27, nº 12, p. 3509-3515.
- Silva, G.J.B. (2005). *Estudo do Comportamento do Concreto de Cimento Portland Produzido com a Adição do Resíduo de Polimento do Porcelanato*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 138 p.
- Silva, M.G. (2012). *Uso Combinado dos Resíduos de Cascalho de Perfuração de Poço de Petróleo e de Polimento de Porcelanato em Cerâmica Vermelha*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 92 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 em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 208 p.
- Steiner, L.R; Bernardin, A.M. e Pelisser F. (2015). *Effectiveness of Ceramic Tile Polishing Residues as Supplementary Cementitious Materials for Cement Mortars*. Sustainable Materials and Technologies, vol. 4, p. 30-35.