

CAPÍTULO 5

ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO NO DESEMPENHO MECÂNICO E NA DURABILIDADE DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Data de submissão: 15/01/2024

Data de aceite: 01/02/2024

Karina dos Santos Fernandes de Souza

Universidade Federal de Pernambuco
Recife – PE
<http://lattes.cnpq.br/2862195360921075>

Diego de Paiva Bezerra

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/3610261129908017>

Débora Emmanuele de Sousa Oliveira

Universidade Federal de Pernambuco
Caruaru – PE
<http://lattes.cnpq.br/3721323185317358>

Maria Jordânia Medeiros Pereira

Universidade Federal de Pernambuco
Caruaru – PE
<http://lattes.cnpq.br/7195263223186739>

Maria de Lourdes Soares de Sousa

Universidade Federal de Pernambuco
Caruaru – PE
<http://lattes.cnpq.br/2309440990938631>

Fabiola Luana Maia Rocha

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/9085564868979082>

Lucas Moura Delfino

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/4922835126288442>

Denn's Santana Perônica

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/6137133841504576>

Leane Priscilla Bonfim Sales

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/3443866511928538>

Rochanna Alves Silva da Rocha

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/6857146190138160>

Iraniza Costa da Silva

Universidade Federal de Pernambuco
Recife – PE
<http://lattes.cnpq.br/1166427217948949>

Silvânio da Silva Sousa Segundo

Universidade Federal de Pernambuco
Recife – PE
<http://lattes.cnpq.br/4933958004835074>

RESUMO: A indústria da construção civil é uma grande geradora de resíduos prejudiciais, resultantes dos inúmeros processos produtivos. O resíduo de polimento de porcelanato (RPP) é um dos resíduos derivados da indústria cerâmica.

Diante disso, essa pesquisa teve o objetivo de analisar o emprego do RPP como material suplementar na produção do concreto, avaliando sua influência nos requisitos mecânicos e de durabilidade. A metodologia adotada consistiu na realização de ensaios de caracterização do RPP, ensaio no estado endurecido do concreto (resistência mecânica à compressão uniaxial e análise da durabilidade). Os teores de RPP incorporados na composição foram de 10% e 20% em relação a massa cimento, em misturas com aditivos plastificantes. O resíduo de polimento do porcelanato com teor de 10% e 20%, considerando a variação da relação água/cimento, obteve um aumento na ordem de 20% na resistência do concreto. Na análise da durabilidade, o ambiente marinho obteve a maior perda de resistência mecânica, referente a 16,9%, seguido do subsolo com 8,53% e da exposição ao gás carbônico com queda de 1,63%.

PALAVRAS-CHAVE: RPP; Resíduo; Resistência; Durabilidade.

STUDY OF INCORPORATION OF PORCELAIN POLISHING RESIDUE IN MECHANICAL PERFORMANCE AND DURABILITY OF PORTLAND CEMENT CONCRETE

ABSTRACT: The construction industry is a large generator of harmful waste, resulting from numerous production processes. Porcelain polishing residue (RPP) is one of the residues derived from the ceramic industry. Therefore, this research aimed to analyze the use of RPP as a supplementary material in the production of concrete, evaluating its influence on mechanical and durability requirements. The methodology adopted consisted of carrying out RPP characterization tests, testing in the hardened state of the concrete (mechanical resistance to uniaxial compression and durability analysis). The RPP levels incorporated in the composition were 10% and 20% in relation to the cement mass, in mixtures with plasticizing additives. The porcelain polishing residue with a content of 10% and 20%, considering the variation in the water/cement ratio, achieved an increase of around 20% in the concrete's strength. In the durability analysis, the marine environment had the greatest loss of mechanical resistance, corresponding to 16.9%, followed by the subsoil with 8.53% and exposure to carbon dioxide with a drop of 1.63%.

KEYWORDS: RPP; Residue; Resistance; Durability.

1 | INTRODUÇÃO

A Construção Civil manifesta-se como um grande usuário de matérias primas naturais, contribuindo para o fomento da degradação ambiental. O paradigma vigente tem voltado a sua atenção para questões relevantes ao uso de elementos e tecnologias que possam reverter essa situação. A busca por inovações científicas permitiu o desenvolvimento e a utilização de diversos materiais em obras, com o propósito de melhoria no desempenho técnico e econômico dos empreendimentos (Marques *et al.*, 2007).

A utilização de adições minerais tem demonstrado ser muito importante no desempenho do concreto de cimento Portland, tanto nas propriedades do estado fresco e endurecido, como no aspecto da durabilidade e, devido a isso, a incorporação de resíduos na produção desses materiais pode proporcionar economia de energia e contribuir para o

desenvolvimento sustentável (Marques *et al.*, 2007).

O concreto é um material que apresenta um grande potencial para absorver elementos alternativos provenientes de rejeitos industriais e resíduos de construção. Dentre as adições minerais está o resíduo de porcelanato produzido pela indústria cerâmica, resultante da fabricação do porcelanato, que consiste em um piso de cerâmica decorrente da etapa de polimento apresentado como pó (Souza, 2007).

O processo de polimento do porcelanato ocorre em um equipamento que possui várias cabeças polidoras compostas de materiais abrasivos, que em contato com as peças em alta rotação e velocidade controlada em presença de água executam o polimento utilizando gradativamente uma granulometria mais fina, até conseguir-se o resultado desejado.

O porcelanato pode ser submetido a um processo de polimento superficial removendo alguns décimos de milímetros de material da superfície da peça cerâmica. Esse produto é um revestimento cerâmico impermeável, totalmente vitrificado, esmaltado ou não, cuja peça queimada é branca ou artificialmente colorida (Silva, 2005).

O processo de fabricação do porcelanato origina uma quantidade significativa de resíduo não reaproveitado pelas indústrias. Um dos subprodutos de porcelanato é oriundo do polimento, fundamental para dar acabamento à peça produzida. O volume total do resíduo de polimento de porcelanato (úmido) produzido gira em torno de 8 m³ por dia (\pm 20 toneladas) tomando como base a fábrica da Cecrisa em Santa Luzia, Minas Gerais. Este material é depositado em caçambas e, posteriormente, transportado e lançado em aterros sanitários da prefeitura (Silva, 2005).

2 | OBJETIVO

A pesquisa teve o objetivo de realizar a incorporação do resíduo de polimento de porcelanato (RPP) na confecção do concreto e analisar a sua influência como adição mineral no comportamento mecânico e nos aspectos de durabilidade da composição, quando submetido ao ataque de agentes agressivos.

3 | METODOLOGIA

A caracterização dos materiais constituintes do concreto, dosagem e confecção dos corpos de prova utilizados na pesquisa foi realizada no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas (LABEME) da Universidade Federal da Paraíba.

A metodologia teórico-experimental adotada consistiu na caracterização do resíduo de polimento de porcelanato (RPP) e no estudo da influência desta incorporação nas principais propriedades do concreto, tomando como referência um material sem adição de RPP.

O procedimento experimental seguido nesse trabalho foi realizado seguindo as

Normas Técnicas referentes aos ensaios de caracterização e resistência mecânica do concreto, que serão apresentadas nos tópicos a seguir. Na Figura 1 representa, de maneira resumida, todo planejamento experimental usado na pesquisa.

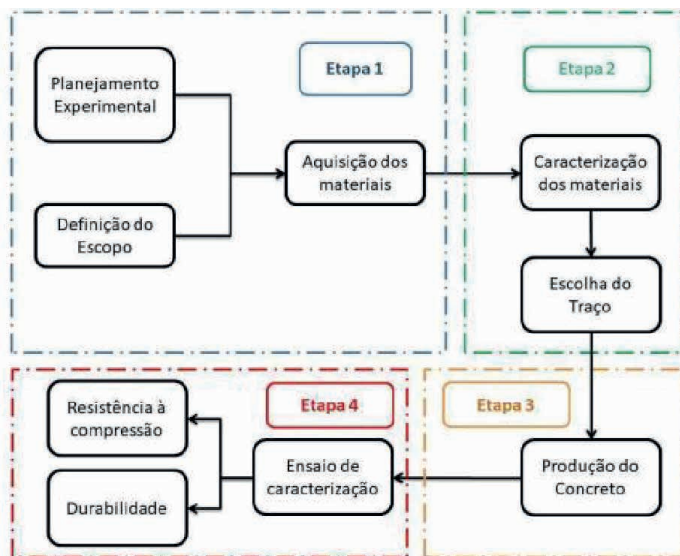


Figura 1 – Fluxograma do programa experimental

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A obtenção dos resultados contemplados nesse tópico está baseada no cumprimento de uma série de processos normativos, critério de dosagem do concreto e confecção dos corpos de prova, todos regidos por um controle tecnológico que visou a obtenção de conclusões satisfatórias da presente pesquisa.

4.1 Ensaio de caracterização do RPP

Primeiramente, foi feito um ensaio de granulometria para conhecer o tamanho das partículas do RPP. Com isso, constatou-se que o resíduo possui um diâmetro médio de $3,74 \mu\text{m}$ e apresenta uma granulometria apropriada para preencher os vazios deixados pelos grãos de cimento. A partir das curvas de distribuição granulométrica foram obtidos os parâmetros D10 e D90, que estão relacionados aos diâmetros de corte da curva de distribuição acumulada em 10% e 90%, respectivamente, enquanto que, o parâmetro D50 está relacionado à mediana da distribuição e corresponde ao diâmetro médio de partícula (D_m).

Porcentagem acumulada	Tamanho das partículas
Diâmetro a 10%	0,10 μm
Diâmetro a 50%	1,94 μm
Diâmetro a 90%	11,19 μm
Diâmetro médio	3,74 μm

Tabela 1 – Ensaio de granulometria à laser do RPP

Em seguida, como consta no Quadro 3, foi feito o ensaio de fluorescência em Raio-X, onde os resultados para a análise química apresentaram teores altos de SiO₂, médios de Al₂O₃, baixos de MgO e traços de Fe, Ca, K, P e Na. A presença do ZrO₂ está relacionada com o grau de brancura do porcelanato.

Elementos	Porcentagens
SiO ₂	71,8058%
Al ₂ O ₃	14,1325%
MgO	4,3522%
Na ₂ O	2,6220%
K ₂ O	2,5405%
CaO	1,7225%
Fe ₂ O ₃	0,9199%
Cl	0,7423%
SO ₃	0,4663%
TiO ₂	0,2304%
P ₂ O ₅	0,1935%
MnO	0,0901%
ZnO	0,0712%
ZrO ₂	0,0355%
Rb ₂ O	0,0257%
Cr ₂ O ₃	0,0132%
SrO	0,0087%
NiO	0,0085%
NbO	0,0052%

Tabela 2 – Resultado da fluorescência de raio x

É possível observar que os índices de óxido de magnésio (parte derivada do abrasivo utilizado no polimento do porcelanato) e óxido de cálcio, que provocam reações expansivas na hidratação, aparecem em quantidades inofensivas para uso no concreto com base na NBR 16697 (ABNT, 20181) Cimento Portland Comum. Concluiu-se que grande parte do resíduo é formada por sílica e alumina, o que pode provocar uma melhor trabalhabilidade (dispersão das partículas), refinamento dos poros e maiores resistências (microestrutura

mais densa).

De acordo com a NBR 12653 (ABNT, 2014), norma esta que classifica as pozolanas em classes conforme suas origens e exigências mínimas quanto à sua composição, observa-se que o RPP aparece na classe N como uma argila calcinada, apresentando uma quantidade de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeO}_3$ superior a 70%. Com relação aos outros componentes, o óxido SO_3 está abaixo de 4%, o álcali Na_2O aparece um pouco acima de 1,5%, o que pode provocar a reação álcali-agregado e a perda ao fogo abaixo da porcentagem máxima de 10%.

Os resultados dos ensaios de massa específica e teor de umidade do resíduo estão apresentados na Tabela 3, ambos os ensaios foram realizados em triplicata para garantir a veracidade dos resultados.

Norma	Resultado obtido
Massa específica NBR 6474 (ABNT, 2001)	2,385 g/cm ³
Teor de umidade – Estufa padrão	22,53%

Tabela 3 – Ensaio físicos do RPP

4.2 Propriedades do concreto no estado endurecido

A composição em massa adotada foi de 1:2:3 (uma unidade de massa de cimento, para duas unidades de massa de areia, para três unidades de massa de brita), por se tratar de um traço de boa resistência mecânica, econômico e de fácil preparo. Foi utilizado o cimento CPV ARI, fato esse justificado pelo produto ter um alcance de resistência mais alto nas primeiras idades.

O fator água/cimento (quantidade de água em relação à quantidade de cimento) variou entre 0,34; 0,37 e 0,40. O aditivo utilizado neste trabalho foi o Sikament PF 171, do fabricante Sika, e consiste em um aditivo líquido, polifuncional de pega normal para concreto com uma ampla faixa de dosagem.

Os resultados da dosagem experimental com idade de ensaio de 7 dias por meio da compressão axial NBR 5739 (ABNT, 2018) (Figura 2), permitiram concluir que os o resultado dos 03 corpos de prova com adição de 10% apresentou um aumento na resistência de 23,61% em relação aos corpos de prova de referência. Já os corpos de prova com adição de 20% não apresentaram influência na resistência mecânica do concreto. Os resultados estão dispostos na Tabela 4.



Figura 2 – Corpos-de-prova em ensaio destrutivo

Adição RPP	Número de amostras	Resistência (MPa)
0%	3	30,70
10%	3	37,95
20%	3	27,95

Tabela 4 – Resultado do ensaio de compressão axial aos 7 dias

Após o cálculo do traço (1:2:3:0,4) variou-se os teores de adição bem como da relação água/cimento a fim de encontrar um traço ideal. Passados 28 dias de cura os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão axial. Os resultados estão dispostos na Tabela 5.

Adição RPP	Água/cimento	Número de amostras	Resistência (MPa)
0%	0,34	3	45,38
20%	0,34	3	47,74
0%	0,40	3	32,24
20%	0,40	3	39,63
10%	0,37	3	45,92

Tabela 5 – Resultado do ensaio de compressão axial aos 28 dias

Com essa variação foi possível concluir que o teor de adição de 20%, com relação água/cimento de 0,34, foi o que apresentou maior resistência mecânica. Dessa forma, encontrou-se um teor ideal tanto para a adição de 10% como para a de 20% viabilizando a implantação do resíduo como material aditivo no concreto.

A presença de partículas inertes na zona de transição do concreto nas primeiras idades atua como pontos de nucleação desorientando a formação preferencial do hidróxido de sódio, dificultando a formação de planos de fraturas contíguos, que enfraquecem o

concreto. Sabe-se que RPP possui pouca atividade pozolânica, entretanto a sua alta finura atuou como filer nos poros e na zona de interface matriz/agregado, agindo como agente densificador destas regiões do concreto durante o processo de hidratação, garantindo uma maior resistência à compressão (Olliver, 1998).

Percebe-se que há um ganho substancial de resistência à medida que aumenta o teor de adição para 10%, onde a densificação da pasta diminui a tendência de formação de microfissuras que levam à ruptura do material. De acordo com Silva (2005), esse ganho está relacionado também com o efeito filer responsável pelo preenchimento dos interstícios e a atividade pozolânica, proporcionando uma maior quantidade de produtos hidratados.

Para os concretos produzidos com adição de 20% de RPP, as partículas de filer também funcionam como agentes de nucleação, acelerando o processo de hidratação, entretanto devido a maior quantidade de partículas de RPP na pasta de cimento, provavelmente há diminuição da ligação entre os produtos hidratados, enfraquecendo o concreto.

A resistência à tração apresenta ser muito mais influenciada pelas características da zona de transição que a resistência à compressão. Isto acontece porque, na resistência à compressão, o concreto chega ao estágio de ruptura já em um estado de fissuração completa, onde existem numerosas fissuras espalhadas por todo o corpo-de-prova. Já na resistência à tração, as fissuras se propagam em direção transversal à aplicação da tensão e a ruptura é função da união apenas de algumas fissuras (Mehta e Monteiro, 2008).

4.3 Análise de durabilidade do concreto com adição de RPP

Por último, comprovado o ganho de resistência do concreto com a adição do resíduo foi preciso verificar o comportamento desse frente a ação de agentes agressivos. A análise patológica foi verificada através de ensaios de resistência mecânica à compressão após a exposição dos corpos-de-prova a ambientes agressivos: marinho, subsolo, exposição ao gás carbônico. Para representar o ambiente marinho os corpos de prova foram submersos em uma solução salina que representasse a concentração do mar. Já para o subsolo os corpos de prova foram enterrados e representando a exposição ao gás carbônico os corpos de prova foram expostos ao ar. A partir do resultado com o teor ótimo de adição (10% de adição de resíduo) ou seja, aquele que apresentou o maior ganho de resistência.

Os resultados do desempenho mecânico dos corpos de provas submetidos a simulação de ambientes agressivos encontram-se na Tabela 6.

Ambiente simulado	Resistência à compressão (MPa)
Corpo de prova de referência	43,60
Marinho	36,23
Subsolo	39,88
Exposição ao gás carbônico	42,89

Tabela 6 – Desempenho mecânico em ambientes agressivos

O ambiente marinho obteve a maior perda de resistência referente a 16,9%, seguido do subsolo com 8,53% e da exposição ao gás carbônico com queda de 1,63% na resistência mecânica.

A perda reduzida na exposição ao gás carbônico foi devido ao ambiente ao qual foram expostos os corpos-de-prova. Esse situa-se no campus da UEPB localizado na cidade de Araruna, município de pequeno porte e por isso produz pouca emissão de gás carbônico.

O ambiente marinho por ser o mais agressivo obteve uma queda de resistência maior, porém esse valor é reduzido quando comparado a concretos usuais visto que a adição de RPP torna o concreto mais impermeável e assim reduz o efeito negativo do ataque de cloretos.

5 | CONCLUSÃO

A reciclagem é de fundamental importância para a redução do impacto ambiental e vem mostrando ser uma alternativa interessante para utilização dos resíduos industriais no setor da construção civil, desenvolvendo materiais que atendam aos padrões técnicos, melhorando suas propriedades e não oferecendo riscos ao meio ambiente.

Vários resíduos são usados na confecção de concretos, contribuindo com suas propriedades mecânicas e aspectos de durabilidade. É nesse sentido que esse trabalho procurou avaliar o comportamento de concretos produzidos com a adição do resíduo de polimento do piso porcelanato.

Os concretos com 10% e 20% de adição obtiveram um ganho médio de resistência quando variando suas relações de água/cimento. A variação da relação água/cimento de 0,37% e 10% do teor de RPP obteve uma resistência mecânica de 45,92 MPa, apresentando-se como teor ótimo de adição tanto em termos mecânicos como em execução.

O comportamento do concreto com teor ótimo de adições submetido a agentes patológicos apresentou influência em relação a diminuição da permeabilidade, dificultando a penetração de meios de deterioração e assim contribui para o aumento da vida útil da estrutura.

O resíduo de polimento do porcelanato pode ser usado na confecção de concretos com um aproveitamento satisfatório de suas propriedades mecânicas e dos aspectos de

durabilidade, desenvolvendo, portanto, um material com melhor desempenho e contribuindo para a preservação do meio ambiente.

A realização de trabalhos futuros para aprofundar e melhorar o desempenho do RPP no concreto é fundamentada em quesitos como a exploração de novos teores de adições, realização de ensaios específicos de durabilidade, estudo da microestrutura do concreto, ensaios de porosidade e absorção e medições térmicas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653: Materiais Pozolânicos. Rio de Janeiro, 2014.

MEHTA, P.K; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo, Ed. Pini, p.573, 2008

MARQUES, L. N. et al. Reaproveitamento do resíduo do polimento de porcelanato para utilização em massa cerâmica. Revista eletrônica de materiais e processos, v. 2, n. 2, p. 34-42, 2007.

SILVA, Guilherme Jorge Brigolini D. 2005. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

SOUZA, Paulo Alysson Brilhante Faheina de. Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato. 2007.

OLLIVIER, J. P., Durability of concrete. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Construção Civil, BT/PCC/192. 129p. São Paulo. 1998.