**ANÁLISE DO PÓ DE VIDRO EM SUBSTITUIÇÃO A AREIA NATURAL NA PRODUÇÃO DE CONCRETO COM CIMENTO PORTLAND**

BERTHA JACHOWICZ SERKES1 e SÍLVIA SANTOS2

1Grauanda em Engenharia Civil UNIVALI, Itajaí-SC, bertha@univali.br;

2Dra. Sílvia Santos, Itajaí-SC, ssantos@univali.br;

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC

08 a 11 de agosto de 2023

**RESUMO**: Este trabalho objetivou analisar a viabilidade da utilização de resíduo vítreo, oriundo da moagem de vidros em processo de reciclagem, como substituinte da areia natural na produção de concretos de cimento Portland. Foram produzidos concretos com substituição de areia natural por pó de vidro nos teores de 50% e 100%, em massa. Os concretos foram submetidos a ensaios no estado fresco e estado endurecido. Os resultados demostraram que a substituição parcial a areia natural por pó de vidro pode ser viável para a produção de concretos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reciclagem, concreto com resíduo, agregado miúdo, pó de vidro.

**ANALYSIS OF GLASS POWDER AS REPLACEMENT OF NATURAL SAND IN THE PRODUCTION OF CONCRETE WITH PORTLAND CEMENT**

**ABSTRACT**: This work aimed to analyze the feasibility of using glassy residue, from the grinding of glass in the recycling process, as a substitute for natural sand in the production of Portland cement concretes. Concretes were produced with the replacement of natural sand by glass powder in the contents of 50% and 100%, by mass. The concretes were subjected to tests in the fresh state and in the hardened state. The results showed that the partial replacement of natural sand with glass powder can be feasible for the production of concretes.

**KEYWORDS:** Recycling, concrete with waste, fine aggregate, glass powder.

**INTRODUÇÃO**

Segundo Marques (2011) o vidro é uma substância inorgânica, sem estrutura atômica definida e fisicamente homogênea, oriundo do resfriamento de uma massa em fusão ou aquecimento de óxidos que, quando exposto a temperaturas na faixa dos 1500 ºC a 1600 ºC, se torna fluido e pode ser moldado nas mais diversas formas e, logo após, resfriado em condições específicas. Além disso, segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (ABIVIDRO, 2021), o vidro é um dos materiais que melhor podem ser reciclados e reutilizados, por ser feito de minerais como areia, barrilha, calcário e feldspato, e que sua reciclagem ainda contribui à diminuição da extração de matérias-primas da natureza e a emissão de dióxido de carbono (CO2) na atmosfera.

O pó de vidro, material de estudo desta pesquisa, é derivado do processo de jateamento, muito comum nas empresas de reciclagem de vidro, utilizando granalha de vidro. Esse jateamento promove limpeza e acabamento uniforme e de toque acetinado no vidro. Entretanto, apesar dos benefícios, o processo gera um alto volume de pó de vidro, sendo esse material residual totalmente descartado.

Por outro lado, a demanda de concreto no setor da Construção Civil acarreta o alto consumo de agregados naturais, principalmente a areia natural (TAMANNA *et al.*, 2020), o que implica na necessidade de buscar materiais alternativos que possam substituir, parcial ou totalmente, os agregados naturais.

Logo, a aplicação do pó de vidro em misturas de concreto pode levar a dois resultados relevantes: (i) dar destinação com agregação de valor ao resíduo; e (ii) melhorar o preenchimento dos vazios do concreto, devido ao tamanho reduzido de suas partículas, aumentando assim a durabilidade do material a longo prazo.

**MATERIAL E MÉTODOS**

 O traço proposto para o concreto de referência (1:0,44:1,02:0,67:1,25:0,45) foi desenvolvido por uma central dosadora de concreto (CDC - parceira da pesquisa) para alcançar uma resistência à compressão de 40 MPa aos 28 dias, tendo um consumo de cimento de 410 kg/m³ e abatimento de cone de (12±2) cm. Foram então produzidos três concretos: concreto referência, o concreto com substituição de 50% da areia natural por pó de vidro e o concreto com substituição total da areia natural por pó de vidro.

Para a produção dos concretos propostos utilizou-se o cimento Portland composto com Filler (CP II F 40), três agregados miúdos (areia natural, areia de britagem - usadas pela CDC; e pó de vidro), duas britas graníticas (brita zero e brita um) e aditivo plastificante *(Tec – Mult 900)*.

Os agregados foram caracterizados de acordo com as respectivas normas técnicas em vigor. O Quadro 1 resume as principais propriedades dos materiais envolvidos no estudo e a Figura 1 traz as curvas granulométricas dos agregados miúdos e das composições dos agregados miúdos empregadas na produção dos concretos. O cimento e o aditivo foram caracterizados por seus respectivos fabricantes.

Quadro 1. Principais propriedades do cimento e agregados

|  |  |
| --- | --- |
| Cimento CP II F 40 | Agregados miúdos |
| Análise física e mecânica | **Propriedades** | **Pó de vidro (PdV)** | **Areia Natural (AN)** | Areia Britada (AB) |
| Início de pega | 256,74 min. |
| Fim de pega | 330,22 min. | **Massa específica (kg/dm³)** | 2,27 | 2,64 | 2,72 |
| Consistência normal | 30,72% |
| Finura – Peneira nº 200 | 0,01% |
| Finura – Peneira nº 325 | 0,60% |
| Massa específica | 3,04 g/cm³ | **Módulo de finura** | 2,55 | 1,06 | 2,81 |
| Massa unitária | 0,90 g/cm³ |
| Superfície específica Blaine | 4.614,35 cm²/g |

Figura 1. Curvas granulométricas dos agregados miúdos e das composições utilizadas



A fim de se avaliar o comportamento do concreto com pó de vidro, a relação água cimento foi a mesma para todos os concretos produzidos (0,45). Logo, a trabalhabilidade foi alcançada por meio de uso de aditivo plastificante nos seguintes teores: 0,3 % relação ao consumo de cimento do concreto, enquanto nos concretos com substituição, foi de 1,2% (teor máximo permitido pelo fabricante).

A produção do concreto referência seguiu o processo usual de adição dos materiais na betoneira, ou seja, agregado graúdo, uma parte da água, cimento, agregado miúdo, restante da água e aditivo. Para determinação do abatimento de tronco de cone, seguiu-se o que estabelece a NBR NM 67 (1998) e para o ensaio de massa específica no estado fresco, o preconiza a NBR 9833:2008.

Para o concreto no estado endurecido, foram seguidas as diretrizes da NBR 5738:2016, no que tange ao processo de desforma e cura dos corpos-de prova, ou seja, 24h nos moldes, desforma e cura imersa até à idade de ensaio (28 dias). Para a realização do ensaio de resistência à compressão axial, os corpos de prova foram retirados da cura submersa 1h antes do ensaio, sendo realizada a retificação das superfícies, seguindo os procedimentos estabelecidos pela NBR 5739:2018. Para a determinação do módulo de elasticidade dos concretos produzidos, utilizou-se da NBR 8522:2021. Para a execução dos ensaios, os corpos de prova, com idade de 28 dias, eram retirados da água 1h antes dos procedimentos e tinham suas superfícies regularizadas por meio de retífica, a fim de se garantir um acabamento plano, livre de rugosidade e paralelismo entre as faces (NBR 5739:2018).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Foi possível observar (Figura 1) que o pó de vidro é, dentre os três agregados miúdos, o que mais se aproxima de uma distribuição granulométrica dentro da zona ótima da NBR 7211:2022. Ainda, que a curva granulométrica correspondente à composição das areias praticada no traço referência, com 30,14% de areia natural e 69,86% de areia britada, atende ao enquadramento de zona utilizável e as curvas correspondentes às composições das areias com o pó de vidro também.

O emprego de pó de vidro interferiu na trabalhabilidade do concreto logo quando adicionado à betoneira. Na primeira produção, seguindo a ordem de mistura já descrita anteriormente, o concreto ficou extremamente seco e segregado, mesmo com emprego do teor máximo de aditivo recomendado pelo fabricante. Devido a isso, na segunda produção a ordem foi alterada e o pó de vidro foi o último material adicionado.

A Tabela 1 apresenta os valores referentes ao consumo de aditivo e abatimento de tronco de cone(*slump test*) de cada concreto produzido.

Tabela 1. Consumo de aditivo e *slump test* dos concretos

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Concreto** | **Consumo de aditivo em relação ao consumo de cimento (%)** | ***Slump test* (cm)** |
| **Referência** | 0,3 | 13,6 |
| **Teor de 50% de substituição por pó de vidro** | 1,2 | 19,0 |
| **Teor de 100% de substituição por pó de vidro** | 1,2 | 7,0 |

Tendo sido fixados a relação água/cimento, a mistura com 50% de pó de vidro incorporado atingiu abatimento de tronco de cone maior que aquela com 100% do resíduo. Isso demonstra a influência do material na trabalhabilidade do concreto: quanto maior o teor de pó de vidro, maior a demanda de água e/ou aditivo na mistura. Esse comportamento pode ser creditado à quantidade de material fino nas composições empregadas: a composição com 50% de pó de vidro possui cerca de 50% dos grãos com diâmetro entre o,15mm e 0,6mm; já na mistura com 100% pó de vidro, essa proporção é da ordem 60% (Figura 1). Por outro lado, poder-se-ia esperar que o concreto referência, se produzido com o mesmo teor de aditivo dos demais (1,2% sobre a massa do cimento) atingiria valores superiores aos concretos com pó de vidro, visto que quase atingiu o limite especificado com apenas ¼ do valor empregado nos outros concretos que se deve, em princípio, ao grau de finura desse material, se comparado à areia natural, originalmente presente na mistura, visto que a areia natural apresenta menor módulo de finura que o pó de vidro (Quadro 1). Materiais mais finos (maior superfície específica), exigem mais água para que se atinja um mesmo abatimento de tronco de cone (METHA E MONTEIRO, 2014).

Os resultados dos ensaios realizados no estado endurecido dos concretos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Massa específica, resistência à compressão axial e módulo de elasticidade dos concretos

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Concreto** | **Massa específica (kg/m³)** | **Resistência à compressão axial (MPa) aos 28 dias** | **Módulo de elasticidade (GPa) aos 28 dias** |
| **Referência** | 2.388,54 | 37,61 | 27,90 |
| **Teor de 50% de substituição por pó de vidro** | 2.441,72 | 40,75 | 32,14 |
| **Teor de 100% de substituição por pó de vidro** | 2.243,74 | 47,38 | 29,12 |

A massa específica dos concretos ficou dentro na ordem de grandeza do que Mehta e Monteiro (2014) chamam de concreto de densidade normal, isto é, em torno de 2.400 kg/m³. Ainda que a areia natural e o pó de vidro apresentem massa específica de diferentes ordens de grandeza (2,64 kg/dm3 e 2,27kg/dm3, respectivamente) e a substituição de um material por outo, aqui, tenha sido feita em massa, o concreto referência e o concreto com 50% de substituição de areia natural por pó de vidro não podem ser considerados estatisticamente diferentes, com 95% de confiança, quanto a análise desta propriedade. Já o concreto com 100% de pó de vidro difere estatisticamente dos demais, indicando que deve haver um valor ótimo para que a substituição do material possa ser feita em massa, a partir do qual deva ser feita em volume absoluto de material, sob pena de redução significativa na massa específica do produto obtido.

O ensaio de resistência à compressão axial apontou que o concreto referência atingiu resultado inferior ao esperado: 37,61 MPa, quando o mínimo a ser atingido seria de 40 MPa. É possível constatar que os concretos com substituição da areia natural por pó de vidro, em ambos os teores avaliados, alcançam resultados da ordem de 40 MPa (concreto com 50% de substituição de areia natural por pó de vidro) e superior ao valor de 40MPa (concreto com 100% de substituição de pó de vidro por areia natural). Estatisticamente (Teste de Duncan – NANNI, 1986) apontou que o concreto com teor de 100% de pó de vidro difere significativamente dos outros dois, apresentando resultado superior para essa propriedade, já o concreto com teor de 50% de pó de vidro não diferiu do concreto referência, o que indica que o aumento do teor de pó de vidro pode beneficiar o desempenho de mecânico do concreto.

Para o ensaio de módulo de elasticidade, os resultados obtidos apontam que o pó de vidro também parece interferir nessa propriedade do concreto. Os concretos com teores de 50% e 100% de pó de vidro em substituição à areia natural, alcançaram 32,14 e 29,12 GPa, respectivamente, enquanto o concreto referência obteve s 27,90 GPa. Neste caso, a análise de múltipla de médias, mostrou que os resultados do ensaio de módulo de elasticidade do concreto com teor de 100% de pó de vidro apresentaram médias que diferem significativamente quando comparadas à média obtida pelo concreto referência; já para o concreto com teor de 50% de pó de vidro, os resultados indicam não haver diferença significativa de resultados, quando comparado ao concreto referência.

**CONCLUSÃO**

 Dentro dos limites dessa pesquisa, foi possível evidenciar que a presença de pó de vidro em substituição à areia natural, em misturas de concreto de cimento Portland, promoveu alterações nas propriedades do concreto, tanto do estado fresco como no estado endurecido. O aumento do teor do material nas misturas reduziu o abatimento de tronco de cone e a massa específica, em relação ao concreto de referência. Já no estado endurecido, enquanto o aumento do teor de pó de vidro aumentou a resistência à compressão axial, reduziu o módulo de elasticidade.

 Pode-se concluir, portanto, que o pó de vidro seja um material com potencial para uso como agregado miúdo na produção de concretos. Todavia, é necessário ampliar as investigações sobre ele, especialmente quanto a aspectos de durabilidade.

 Seu uso pode significar agregação de valor ao que hoje é descartado e redução de impacto ambiental, tanto para a geradora, que deixa de enviá-lo a aterros para descarte, quanto para a construção civil, que pode reduzir a extração e uso de matéria-prima virgem em seus produtos.

**REFERÊNCIAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9833: Concreto fresco – Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2008.

MARQUES, Eva. O que é o vidro? Disponível em: [http://oficina.cienciaviva.pt/~pw054/vidro/Oqueeovidro.htm](https://web.archive.org/web/20110829165350/http%3A/oficina.cienciaviva.pt%3A80/~pw054/vidro/Oqueeovidro.htm). Acesso em: 30 set. 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: Pini, 2014. 751 p.

NANNI, L. F. Análise estatística de dados com uso de técnicas computacionais. 1986. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

PORQUE O VIDRO é a melhor opção para reciclar. ABIVIDRO, [2021?]. E-Book. Disponível em: https://epuroevidro.com/conhecimento/. Acesso em: 24 jun. 2023.

TAMANNA, Nafisa et al. Performance of recycled waste glass sand as partial replacement of sand in concrete. Construction and Building Materials. Londres. 10 abr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117804>. Acesso em: 01 out. 2022.