



## Substituição de agregados miúdos por agregados vítreos no concreto

### *Replacement of fine aggregate by vitreous aggregate in concrete*

Mariana Destri Costa\*, Dr. Carlos Eduardo Tino Balestra†,  
Cauê Benevenuto Rodrigues‡, Karen Imperator§

### RESUMO

Buscando formas de minimizar os efeitos da produção de concretos sobre o meio ambiente, uma opção que vem sendo estudada é substituir a areia, por vidro triturado. A extração de areia é considerada uma atividade poluidora que leva a alterações no meio ambiente (Assoreamento de rios, poluição de cursos d'água e atmosférica, destruição da fauna e flora e etc.), podendo até ser caracterizada como uma exploração criminosa (Atividades em áreas de proteção ambiental). O vidro, por sua vez, é um material que pode ser reciclado infinitas vezes, e com o aumento de utilização do mesmo, maior a taxa de reciclagem, e menores as quantidades descartadas em aterros. Este trabalho analisou a resistência mecânica de concretos com substituição parcial de areia por vidro na composição do concreto. Para viabilizar a utilização desse novo concreto foram realizados ensaios de compressão uniaxial, carbonatação e resistividade elétrica volumétrica em corpos de prova com 25 e 50% de substituição do volume de areia por agregado vítreo, sendo os resultados comparados com os obtidos com corpos de prova de concreto convencional. Os resultados mostraram valores aproximados entre as diferentes composições, nos três ensaios, atestando a viabilidade e o emprego do concreto com o material vítreo reciclado na construção civil.

**Palavras-chave:** Concreto, Vidro, Areia, Resistência, Durabilidade.

### ABSTRACT

Seeking ways to minimize the effects of concrete production on the environment, an option that has been studied is to replace sand by crushed glass. The extraction of sand is considered a polluting activity that leads to changes on the environment (silting of rivers, pollution of watercourses and the atmosphere, destruction of fauna and flora, etc.), and may even be characterized as a criminal exploitation (Activities in environmental protection areas). Glass, in its turn, is a material that can be recycled infinitely, and with the increase in its use, the recycling rate increases, and the quantities discarded in landfills are smaller. This work analyzed the mechanical strength of concrete with partial replacement of sand by glass in the composition of the concrete. To enable the use of this new concrete, uniaxial compression, carbonation and electrical volumetric resistivity tests were made in specimens with 25 and 50% of sand volume replacement by vitreous aggregate, being the results compared with those obtained with samples of conventional concrete. The results showed approximate values between the different compositions in the three tests, attesting to the feasibility and use of concrete with recycled glass material in civil construction.

**Keywords:** Concrete, Glass, Sand, Strength, Durability.

\* Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; [mari\\_destri@hotmail.com](mailto:mari_destri@hotmail.com)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Toledo; [carlosbalestra@utfpr.edu.br](mailto:carlosbalestra@utfpr.edu.br)

‡ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; [cauebrodrigues@gmail.com](mailto:cauebrodrigues@gmail.com)

§ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; [kimperatorr@gmail.com](mailto:kimperatorr@gmail.com)



## 1 INTRODUÇÃO

Podendo levar até 1 milhão de anos para se decompor, o vidro é considerado um material inerte, durável e estável (ROSA; COSENZA; BARROSO, 2007). Proveniente da areia, este elemento preocupa os ambientalistas, pois embora possa ser reciclado inúmeras vezes, menos de 50% do vidro descartado é reciclado. O processo de reciclagem do vidro é simples, sendo realizado a partir da coleta e separação do material, onde os mesmos são higienizados para remover resíduos de substâncias envasadas e contaminações, para então passar por um processo de trituração. Neste momento, o vidro está apto para ser utilizado para os fins deste trabalho, no entanto, uma parcela destes resíduos são aquecidos acima de 1300 °C, fundidos e moldados em outros formatos para reutilização para outras finalidades (CALLISTER JÚNIOR, 2002).

Sobre a extração da areia, muitos autores já investigaram atividades criminosas envolvidas no processo. A areia para extração no Brasil, é oriunda em aproximadamente 70% dos leitos de rios e 30% em áreas de várzeas (DNPM, 2006). Dentre as diversas consequências que advém dessa atividade podemos citar a destruição da fauna e da flora natural, assoreamento e poluição de cursos d'água, poluição atmosférica e descaracterização do ambiente. Além do desgaste ambiental, parte dessa extração é ilegal. A falta de permissões e licenças governamentais é comum, reduzindo o valor da operação e aumentando o lucro sobre esse recurso natural. Ramadon (2016), realizou um estudo sobre essas atividades e chegou a valores de R\$ 8,9 bilhões lucrados indevidamente, que não foram declarados à união e não recolheram impostos em 2015.

Diminuindo a extração de areia na construção civil e aumentando o emprego do vidro reciclado, benefícios nas esferas ambiental, social e econômica podem ser obtidos. Por ser proveniente da areia, o vidro é quimicamente similar, entretanto, para emprego em concretos, ensaios mecânicos e de durabilidade devem ser conduzidos para avaliar a viabilidade desta substituição.

Na literatura esse assunto já vem sendo estudado, em que se observam diferentes porcentagens de substituição dos agregados, porém com resultados ainda controversos relacionados à resistência mecânica. Tamanna, Tuladhar e Sivakugan (2019) e Arivalagan e Sethuraman (2020) chegaram a resultados superiores de resistência mecânica do concreto contendo agregados vítreos em relação ao convencional em taxas de substituição de 20%. Por outro lado, Bostanci, Limbachiya e Kew (2016) e Guo et al. (2020) obtiveram valores inferiores ao do concreto de base, analisando diversas taxas e dimensões para o agregado vítreo. Segundo Teodoro (2013), por se tratar de um resíduo reciclado, a presença de impurezas no material, pode dificultar a aderência à pasta de cimento e a correta hidratação do mesmo, conseqüentemente, resistências à compressão inferiores em relação ao concreto convencional podem ocorrer.

Em relação a durabilidade, Wang (2009) ressalta que na carbonatação, o desempenho do concreto com agregados vítreos foi menor em relação ao concreto convencional. Entretanto, no que remete à resistividade elétrica, o oposto foi observado a medida que a quantidade percentual de vidro aumenta.

Mediante o exposto, a análise dos efeitos da substituição parcial de areia por vidro reciclado foi foco deste trabalho. Desta forma, foram preparados 3 concretos com diferentes percentuais de substituição de areia por vidro (0, 25 e 50%) para avaliação por meio de ensaio de compressão, carbonatação acelerada e resistividade elétrica volumétrica. O objetivo deste trabalho é contribuir para um melhor entendimento dos efeitos dessa substituição nas propriedades do concreto.

## 2 MÉTODO (OU PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DA PESQUISA)

As características dos materiais utilizados são apresentadas na Tab. 1. Foram utilizados areia média, brita com dimensão máxima característica igual a 19mm, cimento CP II F-40 e vidro triturado reciclado com a mesma granulometria da areia obtido de uma usina de reciclagem do material da cidade de Toledo-PR.



**Tabela 1 – Propriedades dos materiais**

| Material        | Dimensão máxima característica (mm) | Módulo de finura | Massa específica (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-----------------|-------------------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Cimento         | —                                   | —                | 3,10                                  |
| Areia           | 1,19                                | 1,90             | 2,65                                  |
| Brita           | 19,10                               | —                | 2,95                                  |
| Vidro triturado | 1,19                                | 1,52             | 2,50                                  |

Fonte: Autoria Própria (2021).

Com as características apresentadas na Tab. 1 foi feita a dosagem do concreto pelo método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) para um  $f_{ck}$  igual a 32MPa. O traço utilizado para a mistura do concreto foi de 1:1,44:2,94:0,48. Foram moldados, então, 36 corpos de prova (10 x 20 cm), 12 de cada composição, para os ensaios como mostra a Tab. 2.

**Tabela 2 – Quantidade de corpos de prova moldados por ensaio a ser realizado**

| Composição                               | Compressão simples | Ensaio de carbonatação | Resistividade elétrica |
|--|--------------------|------------------------|------------------------|
| Convencional (sem substituição de areia) | 6                  | 3                      | 3                      |
| 25% de substituição                      | 6                  | 3                      | 3                      |
| 50% de substituição                      | 6                  | 3                      | 3                      |

Fonte: Autoria própria (2021).

O abatimento do concreto convencional foi de 12 centímetros. Para alcançar o mesmo resultado para os outros dois concretos contendo vidro reciclado foi adicionado aditivo superplastificante a base de Éter Policarboxilato na mistura até atingir o mesmo abatimento. Após moldados os corpos de prova foram colocados na câmara de cura por 28 dias e solução saturada de hidróxido de cálcio a  $23 \pm 2$  °C. Após esse período, os corpos de prova foram retirados para a realização dos ensaios. O ensaio de compressão uniaxial foi realizado em prensa hidráulica de 200 toneladas e o carregamento aplicado neste caso foi de 0,45 +/- 0,15 MPa/s.

Para o ensaio de carbonatação foi corrigido o grau de umidade dos poros dos corpos de prova, pois de acordo com Figueiredo e Meira (1992) a carbonatação é mais expressiva em taxas de umidade próximas a 50%. Desta forma, após a cura, os corpos de prova foram gradualmente secos em estufa até atingir uma massa que correspondesse a um grau de umidade igual a 50%. Em seguida os corpos de prova foram levados à câmara de carbonatação para o ensaio acelerado, sob 20 psi de CO<sub>2</sub> por 48 horas. Por fim os mesmos foram ensaiados por tração por compressão diametral e uma solução de fenolftaleína (99% álcool 70 e 1% de fenolftaleína) foi borrifada nas faces recém fraturadas, nas quais a coloração resultante é analisada. Se permanecer incolor indica pH menor que 9, ou seja, concreto carbonatado e risco de corrosão das armaduras. Se a coloração rosa carmim for observada o meio é alcalino e protegido (pH próximo de 12). A espessura carbonatada é medida com uma régua e os resultados comparados entre si.

A resistividade elétrica-volumétrica mede a dificuldade que a corrente elétrica tem para atravessar um meio. Para o caso analisado quanto menor a resistividade, maior o risco de corrosão das armaduras pela presença de íons livres que participam da reação de oxidação do ferro. O aparelho montado é composto por uma fonte de energia ligado a um voltímetro e um amperímetro, promovendo a passagem de uma corrente através dos corpos de prova e mede a diferença de potencial entre as duas faces (superior e inferior). Com esses valores calcula-se a resistência elétrica ( $R_v$ ) e a resistividade elétrica ( $\rho_v$ ) por meio das Eqs. 1 e 2, em que U é a diferença de potencial (Volt), I é a corrente elétrica (Miliampere), h é a altura do corpo de prova (cm) e A é

a área do corpo de prova ( $\text{cm}^2$ ). Nesse ensaio, os corpos de prova foram retirados da cura e tiveram sua superfície seca com um pano, sendo posteriormente ensaiados quanto à resistividade elétrica.

$$R_v = U/I \quad (1)$$

$$\rho_v = R_v * (A/h) \quad (2)$$

### 3 RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de compressão são apresentados na Tab. 3. Neste caso, observa-se que o concreto convencional apresentou valores de resistência à compressão superior em relação ao concreto com agregado vítreo reciclado e que, além disso, a medida que o percentual de substituição aumenta, menor a resistência mecânica do concreto. Para avaliar se há diferenças estatísticas entre os valores obtidos, foi realizado o teste de Shapiro Wilk e em seguida teste ANOVA. O primeiro comprovou que os valores são provenientes de uma distribuição de dados normais e por intermédio do segundo foi constatado que pela variância e médias os resultados são significativos.

A frente de carbonatação registrada não indicou avanços expressivos. Assim pode-se considerar que todos os exemplares não sofreram carbonatação porém não por conta da presença do vidro na mistura e sim pelo alto consumo de cimento e baixo fator água-cimento, que formou um concreto pouco poroso e mais protegido contra penetração do  $\text{CO}_2$ . A Fig. 1 mostra nos exemplares ensaiados a profundidade alcançada pelo  $\text{CO}_2$ , nos quais se observa um avanço da ordem de poucos milímetros em todos os corpos de prova.

No que remete nos resultados de resistividade elétrica, observa-se que todos os concretos apresentaram valores da mesma ordem de grandeza. Entretanto, com uma taxa de substituição de 25% os valores de resistividade elétrica foram um pouco maiores que os valores obtidos para o concreto convencional. De modo geral, para todos os valores obtidos seguindo a literatura de González e Etxeberria (2014), todos os corpos de prova estão igualmente sob alto risco de corrosão pelos resultados de resistividade elétrica (Tab. 4), demonstrando resultados distintos em relação aos apresentados por Wang (2009).

**Figura 1 – Medição da frente de carbonatação**



Fonte: Autoria própria (2021).



**Tabela 3 – Resultados do ensaio de compressão simples**

| Composição                   | nº | Resistência (MPa) | Resistência média (MPa) |
|------------------------------|----|-------------------|-------------------------|
| Convencional                 | 01 | 48,01             | 42,76 +/- Desv. Pad     |
|                              | 02 | 40,13             |                         |
|                              | 03 | 42,78             |                         |
|                              | 04 | 40,89             |                         |
|                              | 05 | 40,60             |                         |
|                              | 06 | 44,13             |                         |
| 25% de substituição da areia | 01 | 38,26             | 38,91 +/- Desv. Pad     |
|                              | 02 | 38,39             |                         |
|                              | 03 | 41,64             |                         |
|                              | 04 | 35,39             |                         |
|                              | 05 | 39,27             |                         |
|                              | 06 | 40,51             |                         |
| 50% de substituição da areia | 01 | 37,40             | 36,21 +/- Desv. Pad     |
|                              | 02 | 38,76             |                         |
|                              | 03 | 38,38             |                         |
|                              | 04 | 33,02             |                         |
|                              | 05 | 38,74             |                         |
|                              | 06 | 30,95             |                         |

Fonte: Autoria própria (2021).

**Tabela 4 – Resultados do ensaio de resistividade elétrica-volumétrica**

| Composição                   | nº | Corrente elétrica (mA) | Resistividade ( $\Omega$ .cm) |
|------------------------------|----|------------------------|-------------------------------|
| Concreto convencional        | 01 | 32,76                  | 3764                          |
|                              | 02 | 33,94                  | 3633                          |
|                              | 03 | 32,00                  | 3853                          |
| 25% de substituição da areia | 01 | 32,05                  | 3847                          |
|                              | 02 | 32,49                  | 3795                          |
|                              | 03 | 33,09                  | 3726                          |
| 50% de substituição da areia | 01 | 36,15                  | 3411                          |
|                              | 02 | 35,26                  | 3497                          |
|                              | 03 | 34,48                  | 3576                          |

Fonte: Autoria própria (2021).

#### 4 CONCLUSÃO

As resistências à compressão obtidas mostraram um decréscimo conforme aumenta-se a taxa de vidro triturado no concreto no entanto, todos os resultados atingiram a resistência final esperada de 32 MPa da dosagem inicial do concreto.

As frentes de carbonatação obtidas foram da ordem de milímetros. Assim, como não houve frente de carbonatação significativa pode-se concluir que as armaduras estão protegidas sob esta perspectiva. Já pelo teste de resistividade percebe-se que a presença de resíduos vítreos à taxa de 25% acarreta numa pequena melhora nos resultados, porém à taxa superior (50%) o fator piora ou, o que significa um maior risco de corrosão nas armaduras.

Por fim foi possível concluir que o concreto com resíduo vítreo é viável para utilização na construção civil em taxas limitadas a 25% tendo em vista a resistência mecânica e a durabilidade.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pela bolsa concedida (PIBIC – UTFPR - Edital PROPPG – 02/2020 – PIBIC – PIBIC-AF) para a realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ARIVALAGAN, S.; SETHURAMAN, V. S. Experimental study on the mechanical properties of concrete by partial replacement of glass powder as fine aggregate: An environmental friendly approach. **Materials Today: Proceedings**, September 2020.
- BOSTANCI, S. C.; LIMBACHIYA, M.; KEW, H. Portland-composite and composite cement concretes made with coarse recycled and recycled glass sand aggregates: Engineering and durability properties. **Construction and Building Materials**, v. 128, October 2016.
- CALLISTER JÚNIOR, W. D. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. 5. ed. [S. l.]: Livros Técnicos e Científicos, 2002. 589 p. il.
- DNPM. Sumário mineral. **Agregados para a Construção Civil**, Brasília, p. 37 – 42, 2006.
- FIGUEIREDO, E. P.; MEIRA, G. Corrosão das armaduras das estruturas de concreto: Durable Concrete Structures. **Boletín Técnico**, Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, n. 6, p. 18 – 19, 1992.
- GUO, P. et al. New perspectives on recycling waste glass in manufacturing concrete for sustainable civil infrastructure. **Construction and Building Materials**, v. 257, 2020.
- GONZÁLEZ, A.; ETXEBERRIA, M. Experimental analysis of properties of high performance recycled aggregate concrete. **Construction & building materials**, n. 52, p. 227 – 235, February 2014.
- RAMADON, L. F. **A extração ilegal de areia no Brasil**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2016. Disponível em: <http://www.accamtas.com.br/p/a-areia-e-um-dos-maisimportantes.html>. Acesso em: 12 de mar. de 2021.
- ROSA, S. E. S. da; COSENZA, J. P.; BARROSO, D. V. BNDES SETORIAL. **Considerações sobre a indústria do vidro no Brasil**, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Rio de Janeiro, n. 26, p. 101 – 138, Set 2007.
- TAMANNA, N.; TULADHAR, R.; SIVAKUGAN, N. Performance of recycled waste glass sand as partial replacement of sand in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 239, December 2019.
- TEODORO, S. B. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural**. 2013. 65 p. Monografia (GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA.
- WANG, H. A study of the effects of LCD glass sand on the properties of concrete. *Waste Management*, v. 29, n. 1, p. 335 – 341, January 2009.