



## **Desempenho físico-mecânico de compósitos de cimento, celulose e flakes de PET submetidos a ciclos de umedecimento e secagem**

Paulo Gedeão Barroso Gomes Júnior<sup>1\*</sup>; Gabriel Barcelos e Silva, Sergio Rafael Cortes de Oliveira<sup>1</sup>, José Luiz Ernandes Dias Filho<sup>2</sup>, Cassia Maria de Assis Rangel Melo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense – campus Campos Centro; <sup>2</sup>Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

\*paulogedeaojr@gmail.com

### **Resumo**

Este resumo traz parte de um projeto sobre a confecção de um compósito de cimento, resíduo de lodo de papel e flakes de PET, visando sua potencialização como material de construção alternativo. Foram adotadas as proporções 1:3, 1:4 e 1:5 de cimento e resíduos, com substituições de lodo por PET nas taxas de 10%, 20% e 30%. Foram avaliadas as propriedades físico-mecânicas de resistência à compressão e absorção de água aos 28 e 90 dias em amostras não degradadas e aos 35 e 42 dias em amostras que passaram por ciclos de degradação acelerada. Notou-se um aumento da resistência mecânica com a cura e diminuição com a inserção de lodo, sendo a variação pouco sensível ao teor de PET. Quanto à absorção de água, os valores aumentaram conforme o acréscimo de resíduo e com a cura, sendo contornável com a redução do lodo e o uso de soluções impermeabilizantes.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade, Resíduos sólidos, Materiais de construção, Degradação.

### **1. Introdução**

O setor da construção civil é um dos principais responsáveis pela extração dos recursos naturais do país, consumindo de 15% a 50% desses materiais<sup>[1]</sup>. Depois da água, o concreto é o segundo material mais consumido no mundo e largamente empregado na construção civil devido a sua expressividade, múltiplas possibilidades de uso e resistência. Porém, a produção de cimento gera grande impacto, sendo responsável pela emissão de 5 a 7% do CO<sub>2</sub> no planeta. Uma forma de reduzir o impacto do concreto no meio ambiente é a redução do uso do cimento Portland e a sua substituição por outros compósitos<sup>[2]</sup>.

Técnicas que reinsiram resíduos na cadeia construtiva podem ser satisfatoriamente usadas para transformar lixo em um novo recurso, oferecendo proteção ambiental e uma nova funcionalidade para o produto<sup>[3]</sup>. A questão dos resíduos sólidos oriundos das indústrias de papel e celulose, com alto custo de tratamento e gerenciamento, e o eminente descarte de PET resultante principalmente de consumos domésticos e/ou industriais, motivam diversas pesquisas em busca de alternativas para um melhor aproveitamento desses resíduos.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar um compósito constituído de cimento, resíduos de efluente de uma indústria de papel e flakes de PET, avaliando seu desempenho físico-mecânico em condições não degradadas e degradadas por ciclos de umedecimento e secagem, potencializando-o como um material de construção alternativo, comprometido com as demandas sustentáveis requeridas à construção civil.

### **2. Materiais e Métodos**

#### **2.1. Materiais**

O compósito proposto, por ausência de normas específicas, tem analogia aos constituintes do solo-cimento. No entanto, o emprego do solo foi substituído pelo resíduo de efluentes da estação de tratamento de uma indústria de papel e, além disso, frações deste resíduo foram substituídas por flakes de PET. Essas matérias-primas foram combinadas com o cimento

Portland composto com escória (CP II E) e com água, para a qual, estabeleceu-se, inicialmente, um valor fixo para a quantidade utilizada, porém, à medida em que o resíduo industrial foi sendo empregado, a trabalhabilidade da mistura foi prejudicada, acarretando num acréscimo de até 12% da quantidade prevista. Foram confeccionados corpos de prova (CPs) cilíndricos medindo 5x10 cm moldados utilizando tubos de PVC.

## 2.2. Metodologia

### 2.2.1. Ciclos de umedecimento e secagem

Foram realizados ensaios nos quais os CPs estiveram submetidos a ciclos de degradação acelerada por molhagem e secagem, com variação da temperatura da água utilizada, reproduzindo em laboratório o intemperismo que os materiais de construção são submetidos quando aplicados no ambiente externo. As amostras que foram submetidas a este procedimento ficaram sob cura úmida por 28 dias; logo após, foram inseridas na câmara de degradação, onde ficaram por mais 7 ou 14 dias submetidas a ciclos acelerados de molhagem e secagem. O equipamento automático de molhagem e secagem, pertencente à UENF, permite realizar procedimentos de degradação simulando o efeito de agentes intempéricos em rochas ornamentais<sup>[4, 5]</sup>.

### 2.2.2. Ensaios realizados

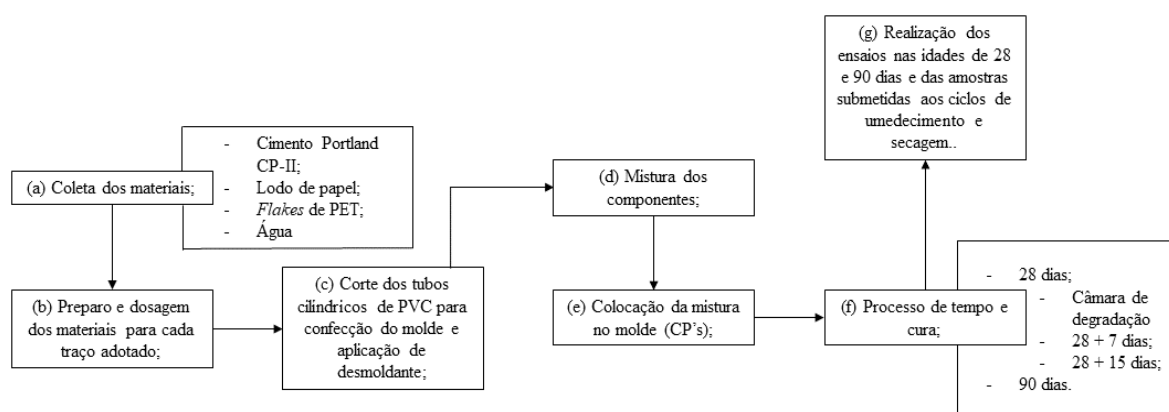
**Resistência à compressão uniaxial**<sup>[6, 7, 8]</sup>: O ensaio foi realizado na prensa modelo EMIC DL30 da UENF e seguiu a uma velocidade de aplicação de carga de  $(50 \pm 10)$  N/s até a ruptura dos CPs.

Para fins comparativos, admitiram-se os valores de referência de resistência à compressão uniaxial de 1,5 MPa e de 3,0 MPa, estabelecida para blocos cerâmicos com furo horizontal e com furo vertical<sup>[7]</sup>, respectivamente, aplicados como alvenaria estrutural, assim como a média dos valores de resistência à compressão aos 28 dias maior ou igual a 2,0 MPa para blocos de solo-cimento sem função estrutural<sup>[8]</sup>.

**Absorção de água**<sup>[7, 8, 9]</sup>: As amostras foram secadas superficialmente para terem as massas úmidas  $m_u$  (g) registradas e, em seguida, foram colocadas na estufa a 105° por 24 horas e, então, puderam ser obtidas as massas secas  $m_s$  (g).

Para fins de comparação, foram admitidos os valores de referência de A.A. mínimo de 8% e máximo de 22% para blocos cerâmicos<sup>[7]</sup>, assim como a média dos valores aos 28 dias menor ou igual a 20% e, valores individuais menores ou iguais a 22%<sup>[8]</sup> para blocos de solo-cimento sem função estrutural.

A Fig. 1 sintetiza um esquema da metodologia da pesquisa, incluindo os materiais utilizados, os traços adotados, o processo de cura e os ensaios realizados para a avaliação das propriedades.



**Figura 1.** Esquemático da metodologia da pesquisa.

### 3. Resultados e Discussão

A Tab. 1 apresenta os resultados de resistência à compressão uniaxial média ( $\sigma$ ) e de absorção de água (%) dos CPs que foram curados e ensaiados nas idades de 28 e 90 dias e dos CPs submetidos aos ciclos de umedecimento e secagem ensaiados nas idades de 35 e 42 dias. Em cada célula de resultados, o valor superior corresponde à resistência à compressão uniaxial e o valor inferior corresponde à absorção de água.

**Tabela 1.** Resultados de resistência à compressão uniaxial (em MPa) e absorção de água (em %) para todos os traços.

| IDADE<br>(DIAS) | TRAÇOS |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 | 1:3    |       |       |       | 1:4   |       |       |       | 1:5   |       |       |       |
|                 | 0%     | 10%   | 20%   | 30%   | 0%    | 10%   | 20%   | 30%   | 0%    | 10%   | 20%   | 30%   |
| 28              | 2,56   | 2,68  | 2,94  | 3,10  | 2,79  | 2,22  | 2,40  | 2,08  | 1,46  | 1,38  | 1,62  | 1,69  |
|                 | 9,32   | 10,49 | 10,57 | 16,32 | 15,49 | 11,68 | 18,01 | 9,98  | 15,93 | 12,02 | 13,76 | 11,23 |
| 35              | 4,35   | 4,62  | 5,02  | 5,58  | 3,54  | 3,05  | 3,55  | 2,92  | 1,94  | 1,92  | 2,16  | 2,39  |
|                 | 20,80  | 18,06 | 24,95 | 19,39 | 24,84 | 26,34 | 21,59 | 23,79 | 31,58 | 30,33 | 28,55 | 26,40 |
| 42              | 3,88   | 4,28  | 3,73  | 4,43  | 3,68  | 3,44  | 3,54  | 2,94  | 2,21  | 1,95  | 2,33  | 1,87  |
|                 | 45,73  | 42,24 | 42,12 | 38,65 | 37,21 | 41,72 | 37,15 | 43,49 | 45,18 | 46,74 | 45,03 | 46,01 |
| 90              | 4,36   | 4,53  | 4,96  | 5,08  | 4,29  | 3,66  | 3,82  | 3,44  | 2,40  | 2,62  | 2,65  | 2,65  |
|                 | 22,10  | 29,65 | 24,25 | 20,57 | 27,29 | 28,26 | 20,22 | 20,61 | 32,81 | 27,21 | 25,99 | 27,50 |

Para todos os traços analisados, os resultados de resistência à compressão foram de no mínimo 1,5 MPa, ultrapassando em alguns casos o valor de 3,0 MPa<sup>[7]</sup>. Considerando o limite mínimo estabelecido de 2,0 MPa<sup>[8]</sup>, apenas as formulações do traço 1:5 apresentaram valores inferiores, ultrapassando esse limite para todos os percentuais de PET, apenas na idade de 90 dias. Analisando-se somente a faixa de adição de PET, de 10% a 30% em relação ao volume de lodo de papel empregado, nota-se que não há variabilidade significativa entre os resultados. Em geral, para baixos teores de incorporação, observa-se insignificante incremento de resistência<sup>[11]</sup>.

Os resultados mais dispersos são relativos às amostras que foram degradadas após ciclos de umedecimento e secagem mas, ainda assim, com valores intermediários e de tendência crescente de resistência entre as idades de 28 dias e 90 dias, cujos CPs não passaram pelo processo de degradação acelerada. A maior dispersão de resultados ocorreu provavelmente devido ao número reduzido de CPs dentro da câmara de degradação (cinco por traço).

De modo geral, observa-se uma elevação dos valores de absorção de água conforme o aumento da quantidade de resíduos na mistura, inversamente proporcional ao que acontece com a resistência mecânica, conforme esperado. Os valores também aumentam com o passar do tempo numa comparação direta entre as amostras não degradadas em câmara ensaiadas aos 28 dias e 90 dias. Na condição degradada, as amostras alcançam valores bem altos já aos 35 dias (compatíveis aos valores para 90 dias das amostras sem degradação em câmara), atingindo condição mais crítica nos ensaios aos 42 dias. Em relação ao aumento de teor de PET, não foi possível encontrar uma estabilidade de comportamento quanto à absorção de água do compósito. O incremento de *flakes* de PET proporciona um aumento da absorção de água, especialmente relacionado ao tamanho e presença das partículas de PET<sup>[12]</sup>. Mas, há casos nos quais a adição do plástico diminuiu a absorção de água<sup>[12, 13]</sup>. A adição do PET em teores de até 15% é favorável à obtenção de parâmetros físicos aceitáveis, embora prejudique a trabalhabilidade da mistura<sup>[13]</sup>.

### 4. Conclusões

Este trabalho apresentou um compósito constituído de cimento e resíduos de efluente de uma indústria de papel e *flakes* de PET, em proporções de 1:3, 1:4 e 1:5 de cimento e

resíduos, com substituições em teores de 10%, 20% e 30% do volume de lodo de papel por PET. Foram investigadas as propriedades físico-mecânicas como a resistência à compressão uniaxial e a absorção de água aos 28 dias e 90 dias. Os procedimentos também foram realizados em amostras que passaram por processo de degradação acelerada por ciclos de umedecimento e secagem durante 7 e 14 dias.

Quanto à resistência à compressão, de maneira geral, os resultados obtidos atenderam aos limites normativos de materiais comparativos como solo-cimento e alvenaria cerâmica. Mesmo o traço com maior quantidade de resíduos (1:5) apresentou resultados satisfatórios para idades superiores a 28 dias.

Embora, na maioria dos resultados, a absorção de água tenha atingido um patamar elevado quando comparada aos limites normativos de outros materiais, é possível resolver esse problema utilizando um traço que consuma menos resíduo de lodo de papel pelo fato de ser um componente higroscópico ou, ainda, adotando soluções que minimizem o umedecimento do compósito, como impermeabilizantes e vernizes ecológicos, entre outros.

A partir da avaliação dos critérios de desempenho pelos ensaios realizados, complementando com ensaios futuros, é possível apresentar o material como uma solução que certifica a busca por novos conceitos visando a sustentabilidade das atividades da construção civil.

## Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense e à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro pela viabilidade de realização desta pesquisa.

## Referências

- [1] JOHN, V. M. **A construção, o meio ambiente e a reciclagem**. Disponível em: <<http://www.placogyps.com.br/download/A%20Constru%E7%E3o%20Civil%20e%20o%20Meio%20Ambiente.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2018.
- [2] RADONJANIN, V. *et al.* Green recycled aggregate concrete. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 47, p. 1503-1511, 2013.
- [3] HUNAG, L.; WANG, H.; WANG, S. A study of the durability of recycled green building materials in lightweight aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 96, p. 353-359, out. 2015.
- [4] DIAS FILHO, J. L. E. *et al.* Durability of Ornamental Gneiss Stones From Pádua, Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 32, n. 7, p. 04020176-11, 2020.
- [5] DIAS FILHO, J. L. E. *et al.* Durability of Ornamental Gneisses from Pádua-RJ as Covering Stone. **The Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 21, p. 1957-1976, 2016.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos – Parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – terminologia e requisitos, 11p, Rio de Janeiro, 2005.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10836**: Bloco de solo-cimento sem função estrutural – análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2004.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12766**: Rochas para revestimento – determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aparente. Rio de Janeiro, 1992.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-3**: Componentes cerâmicos – Parte 3: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.
- [11] GALVÃO, J. C. A. *et al.* Use of waste polymers in concrete for repair of dam hydraulic surfaces. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 25, n. 2, p.1049-1055, 2011.
- [12] MERCANTE, I. *et al.* Mortar and concrete composites with recycled plastic: a review. **Science and Technology of Materials**, [s.l.], v. 30, p. 69-79, 2018.
- [13] HITA, P. R. *et al.* Reuse of plastic waste of mixed polypropylene as aggregate in mortars for the manufacture of pieces for restoring jack arch floors with timber beams. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 198, p. 1515-1525, 2018.